

Family list

1 application(s) for: **JP2000081642 (A)**

1 LIQUID CRYSTAL DISPLAY DEVICE AND ITS PRODUCTION

Inventor: KAWACHI GENSHIRO ; SHINAGAWA **Applicant:** HITACHI LTD
TAKAAKI (+1)

EC: **IPC:** G09F9/30; G02F1/136; G02F1/1365; (+15)

Publication info: JP2000081642 (A) — 2000-03-21

Data supplied from the **esp@cenet** database — Worldwide

LIQUID CRYSTAL DISPLAY DEVICE AND ITS PRODUCTION

Publication number: JP2000081642 (A)

Publication date: 2000-03-21

Inventor(s): KAWACHI GENSHIRO; SHINAGAWA TAKAAKI; MIMURA AKIO

Applicant(s): HITACHI LTD

Classification:

- international: *G09F9/30; G02F1/136; G02F1/1365; G02F1/1368; H01L21/20; H01L21/268; H01L21/336; H01L29/786; G09F9/30; G02F1/13; H01L21/02; H01L29/66; (IPC1-7): G02F1/1365; G09F9/30; H01L21/20; H01L21/268; H01L21/336; H01L29/786*

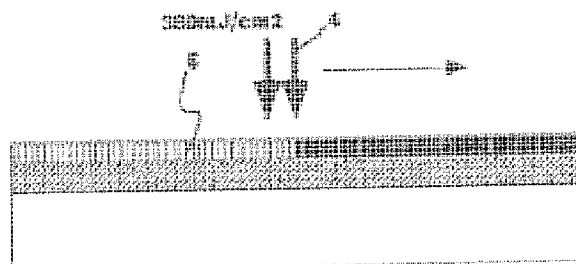
- European:

Application number: JP19990191210 19990706

Priority number(s): JP19990191210 19990706; JP19980190097 19980706

Abstract of **JP 2000081642 (A)**

PROBLEM TO BE SOLVED: To enhance the reliability of an element by surface smoothening and to enhance performance such as transfer rate by the increase of grain diameter by fusing the grains of a polycrystalline semiconductor by irradiation with high energy laser beams. **SOLUTION:** A silicon dioxide film is formed on an alkali-free glass substrate in 200 nm thickness. A hydrogenated amorphous silicon film of 35 nm thickness is then formed by plasma CVD using monosilane and hydrogen as gaseous starting materials. Hydrogen contained in the hydrogenated amorphous silicon film is released by irradiation with 30 shots of 200 mJ/cm² XeCl excimer laser beams and the dehydrogenated amorphous silicon is crystallized by irradiation with 300 mJ/cm² XeCl excimer laser beams to form a polycrystalline silicon film. The grains of the polycrystalline silicon film having about 60 nm average grain diameter are mutually fused by irradiation with 380 mJ/cm² XeCl excimer laser beams 4 to obtain the objective polycrystalline silicon film 6 having about 600 nm average grain diameter.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-81642
(P2000-81642A)

(43) 公開日 平成12年3月21日 (2000.3.21)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)	
G 0 2 F 1/1365		G 0 2 F 1/136	5 0 0	
G 0 9 F 9/30	3 3 8	G 0 9 F 9/30	3 3 8	
H 0 1 L 21/20		H 0 1 L 21/20		
21/268		21/268		F
29/786		29/78	6 2 7 G	

審査請求 未請求 請求項の数28 O L (全 13 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平11-191210

(22) 出願日 平成11年7月6日 (1999.7.6)

(31) 優先権主張番号 特願平10-190097

(32) 優先日 平成10年7月6日 (1998.7.6)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 河内 玄士朗

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 品川 陽明

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 三村 秋男

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

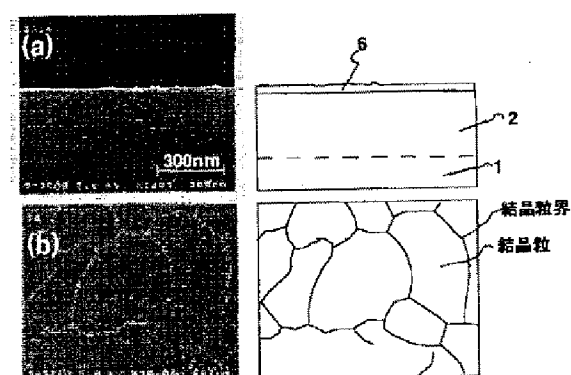
(54) 【発明の名称】 液晶表示装置およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 結晶粒径が大きいかつ、表面凹凸が小さな結晶性半導体表面の凹凸を得る。

【解決手段】 水素を含む非晶質半導体の膜厚を45nm以下とし、レーザ照射により一旦多結晶半導体を作製した後、さらに高エネルギーのレーザを照射して、前のレーザ照射によって形成された結晶粒を融着させて、さらに大きな結晶粒を成長させる方法を採用した。結晶の横方向成長ではなく、小さな結晶粒を融着させて大きな結晶粒を作ることにより、結晶粒界における突起の生成を抑制でき、表面の凹凸が少なくかつ結晶粒径の大きな高品質な結晶性半導体を形成できる。

図 5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】絶縁性基板上に、複数の信号配線と、該複数の信号配線に交差するように形成されたゲート配線と、前記信号配線と前記ゲート配線の交差点近傍に形成された複数の半導体素子と、該複数の半導体素子に接続された画素電極とを有する液晶表示装置の製造方法において、

前記半導体素子を構成する半導体膜は、水素を含有する非晶質半導体膜を形成する第 1 の工程と、前記水素を含有する非晶質半導体膜に、第 1 のエネルギー密度を有するエネルギービームを照射する第 2 の工程と、前記半導体膜に、前記第 1 のエネルギー密度より大きい第 2 のエネルギー密度を有するエネルギービームを照射する第 3 の工程と、前記半導体膜に、前記第 2 のエネルギー密度より大きい第 3 のエネルギー密度を有するエネルギービームを照射する第 4 の工程と、を有する液晶表示装置の製造方法。

【請求項 2】前記第 1 の工程の非晶質半導体層は、5 at % 以上の水素を含有する請求項 1 の液晶表示装置の製造方法。

【請求項 3】前記第 1 の工程の非晶質半導体層の膜厚は、45 nm 以下 20 nm 以上である請求項 2 の液晶表示装置の製造方法。

【請求項 4】絶縁性基板上に、複数の信号配線と、該複数の信号配線に交差するように形成されたゲート配線と、前記信号配線と前記ゲート配線の交差点近傍に形成された複数の半導体素子と、前記複数の半導体素子に接続された画素電極と、前記複数の半導体素子に接続され少なくとも一方の電極が半導体膜で構成された容量素子と、を有する液晶表示装置の製造方法において、前記容量素子の電極を構成する半導体膜は、水素を含有する非晶質半導体膜を形成する第 1 の工程と、前記水素を含有する非晶質半導体膜に、第 1 のエネルギー密度を有するエネルギービームを照射する第 2 の工程と、前記半導体膜に、前記第 1 のエネルギー密度より大きい第 2 のエネルギー密度を有するエネルギービームを照射する第 3 の工程と、前記半導体膜に、前記第 2 のエネルギー密度より大きい第 3 のエネルギー密度を有するエネルギービームを照射する第 4 の工程と、を有する液晶表示装置の製造方法。

【請求項 5】前記第 1 の工程の非晶質半導体膜は、5 at % 以上の水素を含有する請求項 4 の液晶表示装置の製造方法。

【請求項 6】前記第 1 の工程の非晶質半導体膜の膜厚は、45 nm 以下 20 nm 以上である請求項 5 の液晶表示装置の製造方法。

【請求項 7】請求項 1～6 のいずれかに記載の液晶表示装置の製造方法において、

前記半導体素子または容量素子の一方の電極を構成する半導体膜は、表面の凹凸が 5 nm 以下である液晶表示装置の製造方法。

【請求項 8】請求項 1～7 のいずれかに記載の液晶表示装置の製造方法において、

前記半導体素子または容量素子の一方の電極を構成する半導体膜は、多結晶半導体であって、平均結晶粒径が 600 nm 以上である液晶表示装置の製造方法。

【請求項 9】請求項 1～6 のいずれかに記載の液晶表示装置の製造方法において、

前記第 1 の工程から第 4 の工程を半導体膜表面を大気に曝すことなく実施することを特徴とする液晶表示装置の製造方法。

【請求項 10】絶縁性基板上に、絶縁膜を形成する工程と、

前記絶縁膜上に水素を含有する非晶質半導体膜を形成する工程と、

前記水素を含有する非晶質半導体膜に、第 1 のエネルギー密度を有するエネルギービームを照射する工程と、前記第 1 のエネルギー密度より大きい第 2 のエネルギー密度を有するエネルギービームを照射する工程と、前記第 2 のエネルギー密度より大きい第 3 のエネルギー密度を有するエネルギービームを照射する工程とを有する液晶表示装置の製造方法。

【請求項 11】請求項 1～7 のいずれかに記載の液晶表示装置の製造方法において、前記半導体膜は、シリコンを主成分とする液晶表示装置の製造方法。

【請求項 12】半導体薄膜にエネルギービームを照射して結晶化させる工程を有する液晶表示装置の製造方法において、

レーザ等のエネルギービーム照射により第 1 の結晶性半導体を形成し、

更に高いエネルギー密度を有するレーザ等のエネルギービームを照射し、

前記第 1 の結晶性半導体に含まれる結晶粒を融着せしめ、第 1 の結晶性半導体よりも大きな結晶粒を有する第 2 の結晶性半導体を作製する液晶表示装置の製造方法。

【請求項 13】膜厚 45 nm 以下の半導体薄膜にレーザ等のエネルギービームを照射して結晶化させる工程を有する液晶表示装置の製造方法において、レーザ等のエネルギービーム照射により第 1 の結晶性半導体を形成後、更に高いエネルギー密度を有するレーザ等のエネルギービームを照射して、前記第 1 の結晶性半導体に含まれる結晶粒を融着せしめ、第 1 の結晶性半導体よりも大きな結晶粒を有する第 2 の結晶性半導体を作製することを特徴とする液晶表示装置の製造方法。

【請求項 14】請求項 11 又は 12 の液晶表示装置の製

造方法において、
前記半導体薄膜は、非晶質シリコン膜である液晶表示装置の製造方法。

【請求項 15】請求項 1～6 のいずれかに記載の液晶表示装置の製造方法において、
前記非晶質半導体膜は、プラズマ化学気相成長法により形成する液晶表示装置の製造方法。

【請求項 16】請求項 10 の液晶表示装置の製造方法において、
前記絶縁膜の内、前記非晶質半導体膜と接触する絶縁膜を、アルコキシシランと酸素の混合ガスを原料としたプラズマ化学気相成長法により形成する液晶表示装置の製造方法。

【請求項 17】請求項 16 の液晶表示装置の製造方法において、
前記アルコキシシランは、分子内に Si-H 結合を有する液晶表示装置の製造方法。

【請求項 18】絶縁性基板上に、
絶縁膜を形成する工程と、
前記絶縁膜上に水素を含有する非晶質半導体膜を形成する工程と、
前記水素を含有する非晶質半導体膜に、第 1 のエネルギー密度を有するエネルギービームを照射する工程と、
前記第 1 のエネルギー密度より大きい第 2 のエネルギー密度を有するエネルギービームを照射する工程と、
前記第 2 のエネルギー密度より大きい第 3 のエネルギー密度を有するエネルギービームを照射する工程と、を経て多結晶半導体膜を得る工程と、
前記多結晶半導体膜を所定の形状にパターニングする工程と、
前記パターニングされた多結晶半導体を覆うようにゲート絶縁膜を形成する工程と、
前記ゲート絶縁膜を介して、前記多結晶半導体の一部上に延在するようにゲート電極を形成する工程と、
前記ゲート電極をマスクとして、イオン注入法等的手段により前記多結晶半導体の所定部分に P 型あるいは N 型不純物を導入する工程と、
熱処理により前記 P 型あるいは N 型不純物を活性化しソース、ドレイン領域を形成する工程と、
前記多結晶半導体およびゲート電極、ソース、ドレイン領域を覆うように層間絶縁膜を形成する工程と、
前記ソース、ドレイン電極上の層間絶縁膜に開口部を設ける工程と、
前記開口部を介して、前記ソース、ドレイン領域に接続するようにソース電極、ドレイン電極を形成する工程と、
前記ソース、ドレイン電極を少なくとも覆うように保護絶縁膜を形成する工程と、
前記ソースまたはドレイン電極上の保護絶縁膜に第 2 の開口部を設ける工程と、

前記第 2 の開口部を介して、前記ソースまたはドレイン電極に接続する画素電極を形成する工程と、を有する液晶表示装置の製造方法。

【請求項 19】請求項 1～18 のいずれかに記載の液晶表示装置の製造方法において、
前記絶縁性基板は、歪み点が 700℃以下のガラス基板であって、少なくともその一辺が 800mm 以上である液晶表示装置の製造方法。

【請求項 20】絶縁性基板上に、複数の信号配線と、該複数の信号配線に交差するように形成されたゲート配線と、前記信号配線と前記ゲート配線の交差点近傍に形成された複数の半導体素子と、前記複数の半導体素子に接続された画素電極とを有する液晶表示装置において、
前記半導体素子を構成する半導体膜は、レーザ結晶化法によって作製された、膜厚が 45nm 以下 20nm 以上でかつ表面の平均粗さが 5nm 以下で、かつ平均結晶粒径が 600nm 以上である液晶表示装置。

【請求項 21】絶縁性基板上に、複数の信号配線と、該複数の信号配線に交差するように形成されたゲート配線と、前記信号配線と前記ゲート配線の交差点近傍に形成された複数の半導体素子と、前記複数の半導体素子に接続された画素電極と、前記複数の半導体素子に接続され、少なくとも一方の電極が半導体膜で構成された容量素子とを有する液晶表示装置において、
前記容量素子の電極を構成する半導体膜は、レーザ結晶化法によって作製された、膜厚が 45nm 以下 20nm 以上でかつ表面の平均粗さが 5nm 以下で、かつ平均結晶粒径が 600nm 以上である液晶表示装置。

【請求項 22】絶縁性基板上に複数の信号配線と、前記複数の信号配線に交差するように形成されたゲート配線と、前記信号配線とゲート配線の交差点近傍に形成された複数の半導体素子と、前記複数の半導体素子に接続された画素電極とを少なくとも有する液晶表示装置において、
前記半導体素子を構成する半導体膜は、レーザ結晶化法によって作製された、膜厚が 45nm 以下 20nm 以上でかつ表面の平均粗さが 5nm 以下で、かつ平均結晶粒径が 600nm 以上であって、かつ任意の結晶粒の面積を S_n とした時、その結晶粒の表面における外周の長さ L_n が、 $R_n = (S_n / \pi)^{1/2}$ で定義される R_n に対して、少なくとも 50% 以上の結晶粒において $L_n \leq 4\pi R_n$ が成り立つ半導体薄膜である液晶表示装置。

【請求項 23】絶縁性基板上に複数の信号配線と、該複数の信号配線に交差するように形成されたゲート配線と、前記信号配線と前記ゲート配線の交差点近傍に形成された複数の半導体素子と、前記複数の半導体素子に接続された画素電極と、前記複数の半導体素子に接続され少なくとも一方の電極が半導体膜で構成された容量素子とを有する液晶表示装置において、
前記容量素子の電極を構成する半導体膜は、レーザ結晶

化法によって作製された、膜厚が45nm以下20nm以上でかつ表面の平均粗さが5nm以下で、かつ平均結晶粒径が600nm以上であって、かつ任意の結晶粒の面積を S_n とした時、その結晶粒の表面における外周の長さ L_n が、 $R_n = (S_n / \pi)^{1/2}$ で定義される R_n に対して、少なくとも50%以上の結晶粒において $L_n \leq 4\pi R_n$ が成り立つ半導体薄膜である液晶表示装置。

【請求項24】請求項20～23のいずれかに記載の液晶表示装置において、前記半導体膜は膜表面の主たる結晶配向が(111)である多結晶シリコン膜である液晶表示装置。

【請求項25】請求項20～24のいずれかに記載の液晶表示装置において、前記絶縁性基板は、歪み点が700℃以下のガラス基板である液晶表示装置。

【請求項26】請求項20～24のいずれかに項記載の液晶表示装置において、前記半導体素子は、前記半導体膜上に絶縁膜を介してゲート電極が形成されたトップゲート構造を有する液晶表示装置。

【請求項27】請求項1～6のいずれかに記載の液晶表示装置の製造方法において、前記エネルギービームは、レーザ光である液晶表示装置の製造方法。

【請求項28】請求項1～6のいずれかに記載の液晶表示装置の製造方法において、前記第2の工程又は前記第3の工程又は前記第4の工程のエネルギービームの照射は、複数回行う液晶表示装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、液晶表示装置およびその製造方法に関し、特に大型、高精細、高画質を有する高品位の液晶表示装置の構成およびその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】OA機器等の画像情報、文字情報の表示装置として、薄膜トランジスタ（以下TFTと記す）を用いたアクティブマトリックス方式の液晶表示装置が知られている。従来この種の液晶表示装置においては低コスト化、高精細化、高画質化が重要な課題である。これらの課題を解決するためにはキーデバイスであるTFTの性能向上が欠かせない。高性能なTFTを安価なガラス基板上に形成するに際して、例えば、特開平8-167722号公報に記載されているように、TFTアクティブマトリックスを駆動する周辺駆動回路をもTFTで構成し、同一基板上に集積してコストを低減することが試みられている。より高機能の周辺駆動回路をガラス基板上に集積できれば外部に実装する回路構成や実装工程を簡化できるので実装コストの大幅な削減が期待できる。

高機能の回路を構成するためには、より高性能なTFTが必要とされる。特に、現在周辺駆動回路集積型の液晶表示装置用のTFTとして多結晶シリコン（以下poly-Siと記す）膜上に形成したpoly-Si TFTが、期待されている。高性能のpoly-Si TFTを大面積基板上に形成するためには高品質なpoly-Si膜を低温で形成することが必要である。低温で、高品質なpoly-Si膜を大型のガラス基板上に形成する技術として、高出力レーザを用いたレーザ結晶化法が知られている。

【0003】従来、半導体薄膜のレーザ結晶化法では、特に粒径の大きな多結晶が形成される際、その膜厚と同じレベルの高さの突起が生成する。この半導体薄膜を、デバイス、特に薄膜トランジスタの能動層に適用した時に、突起部における電界集中によってホットキャリアがゲート絶縁膜を劣化させるため、この突起がゲート絶縁膜の耐圧特性や長期使用に対する信頼性を低下させる一因となっている。これまでに報告されている、レーザ結晶化を用いた表面の凹凸が少ない結晶性半導体薄膜の製造方法としては、

(1) IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, VOL. 42 NO.2 1995 p251 に記載されているようにレーザを10mJ/cm²ピッチで多段階照射する。

【0004】(2) Dig. of Tech. Papers 1997 Int. Workshop Active Matrix Liq. Cryst. Displays (Business Center of Academic Societies, Tokyo 1997) p167 に記載されているように、非晶質シリコンを固層成長法で多結晶化した後、レーザ照射する。

【0005】(3) Dig. of Tech. Papers 1996 Int. Workshop Active Matrix Liq. Cryst. Displays (Business Center of Academic Societies, Tokyo 1996) p85に記載されている結晶化の際に半導体表面にレーザ光を透過するキャップ材を形成して、凹凸の成長を抑える手法がある。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上記従来技術では以下のような問題がある、従来技術の(1)は、レーザを細かく10mJ/cm²で多段階照射するため、一度できた微結晶シリコンが溶融しにくく、結晶粒径が60nm程度の多結晶シリコンしか作製できず、結晶粒径が500nm以上の大きな多結晶シリコンができないという問題点がある。

【0007】(2)では、固層成長法を用いるため、シリコンを1000℃で加熱するので安価なガラス基板が使用できず、低コストで結晶性半導体を製造できない問題がある。

【0008】(3)では、レーザ照射による溶融時に、熱がキャップ材に熱伝導で逃げるため、結晶化速度が速まり結晶粒径の小さな品質の悪い多結晶半導体しかできないのが問題である。

【0009】以上のように、従来のレーザ結晶化の方法

では、表面の平滑化による素子信頼性の向上と大粒径化による移動度等の性能の向上の両立が困難であった。

【0010】これに対して、本発明はレーザ結晶化法を用い、結晶粒径の拡大と半導体表面での突起生成の抑制との両立を目的としており、膜厚が45nm以下でかつ平均結晶粒径が600nm以上でかつ表面の平均粗さが5nm以下と平坦な高性能な結晶性半導体膜およびそれを用いた液晶表示装置を提供するものである。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明では半導体薄膜をレーザ結晶化する際に、半導体の膜厚を45nm以下とし、レーザ照射により一旦多結晶半導体を作製した後、さらに高エネルギーのレーザを照射して、前のレーザ照射によって形成された結晶粒を融着せしめ、さらに大きな結晶粒を有しかつ表面が平坦な多結晶半導体膜を成長させることを特徴としている。

【0012】具体的には、絶縁基板上に、水素を含有する非晶質半導体膜を形成する第1の工程と、前記水素を含有する非晶質半導体膜に、第1のエネルギー密度を有するレーザ光等のエネルギービームを少なくとも一回以上照射する第2の工程と、前記半導体膜に、前記第1のエネルギー密度より大きい第2のエネルギー密度を有するレーザ光等のエネルギービームを少なくとも一回以上照射する第3の工程と、前記半導体膜に、前記第2のエネルギー密度より大きい第3のエネルギー密度を有するレーザ光等のエネルギービームを少なくとも一回以上照射する第4の工程とを少なくとも有する製造工程を採用した。

【0013】初期膜として、適度の水素を含む非晶質半導体膜をプラズマCVD法により形成することにより、一辺が800mm以上あるような大型のガラス基板上に400℃以下の低温で、均一に非晶質半導体を形成できる。また、初期膜の膜厚はレーザ再結晶化後の表面凹凸の大きさに影響を及ぼす。本発明者らの実験によれば、膜厚としては45nm以下であれば、表面凹凸は概ね5nm以下に抑制できることが明らかとなっている。

【0014】次に、第1のレーザ照射により、前記非晶質半導体中を加熱し、膜中の水素を脱離させる。

【0015】この時の照射エネルギー密度は膜の熔融、結晶化が起こらない程度とし、膜中の水素が一気に放出されることによる膜のボイドの発生を防止する。

【0016】次に、第1のレーザより強い第2のレーザ照射により、非晶質半導体を熔融、再結晶化させて、平均結晶粒径が50nm程度の小さい結晶粒から構成される多結晶半導体膜を得る。

【0017】この時に、結晶粒径を大きくするために照射エネルギーを一気に増大させると、完全に熔融したシリコンが、結晶化する際に、水平方向（下地基板に対して平行な方向）にも大きな温度勾配に従い結晶成長が水

平方方向に進み、隣り合う成長面が衝突する領域（粒界）で、密度が熔融状態の 2.5 g/cm^3 から結晶状態の 2.3 g/cm^3 まで減少するため、体積の膨張が起こり突起が生成平滑な表面を得るという目的を達成できない。このため、第2のレーザビーム強度としては平均結晶粒径が50nm程度の小さい結晶粒から構成される多結晶半導体膜が得られる範囲を選ぶことが重要である。

【0018】最後に、第2のレーザビームよりもさらに強い第3のレーザビームの照射により、第2のレーザ照射で得られた小粒径の結晶粒を融着させて大粒径の多結晶半導体膜を得る。このようにして得られた大粒径多結晶半導体膜は、粒界を挟んだ結晶粒が融着（二次粒成長）することにより結晶粒の拡大が起きている。この時、水平方向に進む結晶成長面の衝突は起きないので、突起の高さは低いレーザで結晶化したときのものが維持されるので、結晶化プロセス全般にわたって、高い突起の生成は抑制される。

【0019】また、このようにして得られた多結晶半導体膜は、結晶粒は不定形であり、その結晶粒の表面における外周の長さ L_n が、 $R_n = (S_n / \pi)^{1/2}$ で定義される R_n に対して、少なくとも50%以上の結晶粒において $L_n \leq 4\pi R_n$ が成り立つものである。通常、固層成長法によって作製した多結晶半導体膜では、結晶粒はデンドライト形状となり、結晶粒の面積に対して非常に大きな外周長を有し、上式は成り立たない。このような多結晶半導体膜では結晶欠陥が多く大きなキャリア移動度が得られない。これに対し本発明による多結晶半導体膜は、結晶粒の外周長が小さく高品質な結晶性半導体となっている。

【0020】このような大粒径で平坦な多結晶半導体膜は、高信頼で高性能なTFTに好適である。

【0021】本発明のその他の特徴は以下の実施の形態から明らかとなる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例につき半導体膜としてシリコンを用いた例を図面を参照しながら説明する。

【0023】（実施の形態1）680mm×880mmで歪み点670℃の無アルカリガラス基板1上にテトラエチルオルソシリケート（TEOS）と酸素ガスを原料としたプラズマCVD法で酸化シリコン膜2を200nm成膜する。

【0024】成膜温度は360℃でTEOSと O_2 の流量比は1：100である。下地酸化シリコン膜は上層の半導体層と接触するためゲート酸化膜と同等の良質な膜を形成する必要がある。TEOS： O_2 比を1：100とし、成膜温度350℃とすることにより、固定電荷密度が小さい良質な酸化シリコン膜2をえることができた。また、TEOSの替わりに、TEOS分子の4つのアルキル基のひとつをHで置き換えたトリエトキシオル

ソシリケイト ($\text{H}-\text{Si}-\text{O}_3(\text{C}_2\text{H}_5)_3$) を使うことも良質な膜を形成するために有効である。

【0025】次に、モノシランと水素を原料ガスとするプラズマCVD法により膜厚35nmの水素化非晶質シリコン3を成膜する。赤外吸収法により評価した膜中の水素量は7~10at%であった。(図1)

次に、 $200\text{mJ}/\text{cm}^2$ のXeClエキシマレーザ4を30ショット照射して、上記水素化非晶質シリコン膜3の含有水素を脱離させる。脱水素処理後の膜中水素量は1~3at%であった。(図2)

次に $300\text{mJ}/\text{cm}^2$ のXeClエキシマレーザ4を照射して、脱水素化処理した非晶質シリコン4を結晶化させ多結晶シリコン膜5を形成する。平均結晶粒径は約60nmであった。(図3)

次に、 $380\text{mJ}/\text{cm}^2$ のXeClエキシマレーザ4を多結晶シリコン膜5に照射すると、平均結晶粒径は約60nmの結晶粒が相互に融着して平均結晶粒径が約600nmの多結晶シリコン膜6が得られた。(図4)

図5にこのようにして得られた多結晶シリコン膜6の表面および断面の走査電子顕微鏡像写真を示す。平面図においては結晶粒界をはっきりさせるために粒界部分はエッチング処理により除去してある。写真から分かるように膜の表面は極めて平滑であり、大きな結晶粒が得られていることが分かる。表面の平均凹凸は3nmであった。平坦化を達成する上で初期の非晶質シリコンの膜厚は重要な要素である、図6は膜厚55nmの水素化非晶質シリコンに対し、同様な工程を施して作製した多結晶シリコン膜の表面および断面走査電子顕微鏡像写真を示す。膜厚55nmでは同様な工程を経たにもかかわらず、表面に膜厚と同程度の高さの突起がみられ、従来のレーザ結晶化法で作製した多結晶シリコン膜と変わるところがなかった。そこで、表面凹凸および結晶粒径と初期膜である水素化非晶質シリコンの膜厚の関係を詳細に調べた。

【0026】図7に異なる初期膜厚のシリコン膜に対する膜の平均結晶粒径と3回目のエキシマレーザの照射エネルギーの関係を示す。

【0027】尚、結晶粒の平均粒径は、各々の結晶粒の面積に等しい円の直径で定義しており、m個の結晶粒が存在する任意の領域(面積はS)の平均結晶粒径laは次式で定義される。

$$\text{【0028】 } l a = 2 \times ((S / m) / \pi)^{1/2}$$

なお、本発明では、平均結晶粒径を求める範囲の面積SはSEMの場合、結晶粒の大きさが確認できる倍率で撮影された、一視野の中の粒界が視野から外れて切れることなくその全体が撮影された各結晶粒の面積の合計である。また、複数の視野がある場合は、各視野の全体が視野に入った結晶粒の面積の合計を全視野あわせた合計が面積Sとなる。AFMやSTM等の場合は、その任意の測定範囲内に粒界が全て入った各々の結晶粒の面積の合

計である。

【0029】平均結晶粒径が最大となる照射エネルギーは初期膜の膜厚に依存し、膜厚が薄くなるほど小さくなる。また、平均結晶粒径の最大値も初期膜の膜厚に依存し、膜厚45~35nmで最も大きくなり、それより膜厚が薄くても厚くても最大粒径は小さくなるのが分かる。膜厚が薄くなるほど最大粒径が大きくなるのは、2次結晶粒成長のドライビングフォースとなる基板界面での表面エネルギーが粒界での原子再配列に必要な粒界エネルギーにくらべ大きくなり2次結晶粒成長が起こりやすくなったためと考えられる。この結果から、結晶粒径を大きくするためには初期膜の膜厚としては45nm以下、望ましくは35nm~45nmが良いことがわかる。

【0030】図8は最大平均結晶粒径が得られた膜の表面凹凸および最大結晶粒径と初期膜の膜厚の関係を示す。

【0031】表面凹凸は原子間力顕微鏡(AFM)により求めた平均粗さである。

【0032】本発明では表面の平均粗さは算術平均粗さ(Ra)を意味しており、半導体の表面形状を三次元で分析する場合は、表面形状曲面と表面形状の平均高さの面で囲まれた部分の体積を測定面積で割ったものである。本発明では測定面積を、三次元で表面形状を分析できるAFMや走査型トンネル電子顕微鏡(STM)等の分析手段で分析する場合、分析が可能である分析限界面積より大きな面積をもった半導体表面の任意の範囲とする。一方、表面形状を半導体の二次元の断面構造で分析する場合、表面平均粗さは、図9に示すように表面形状曲線から得られると表面形状の高さの積分値を測定長で割ったものである。断面構造はTEMや高分解能の走査型電子顕微鏡(SEM)の写真によって観察できる。またAFMやSTMの測定針を1回走査することでも可能である。本発明で、平均粗さを算出する測定長の範囲は、TEMやSEM等の電子顕微鏡を分析手段とする場合、粗さの算出が可能な倍率である電子顕微鏡の一視野もしくは複数の視野である。また、AFMやSTMを用いる場合は、その測定限界長さよりも長い半導体表面の任意の範囲である。本発明では、平均粗さの算出法は三次元の形状からの算出と断面形状からの算出のどちらを用いてもよい。三次元の形状を見た場合、膜厚方向をZ軸、測定された表面形状曲面を $z = f(x, y)$ とすると、Raは次式のようにになる。

$$\text{【0033】 } R a = (1 / (L x \cdot L y)) \times \int_0^{L x} \int_0^{L y} f(x, y) d x d y$$

ここでLx: X方向測定長, Ly: Y方向測定長
一方、断面構造を見た場合、膜厚方向をZ軸、測定された表面形状曲線を $z = f(x)$ とすると、Raは次式のようにになる。

$$\text{【0034】 } R a = (1 / L x) \times \int_0^{L x} f(x) d x$$

ここでLx: X方向測定長である。

【0035】図8の結果より、平均結晶粒径600nmを得るためには初期膜厚20nm以上が望ましいことがわかる。また、表面凹凸5nm以下を得るためには膜厚が45nm、望ましくは40nm以下とすることが望ましい。

【0036】また、本発明による多結晶シリコン膜をX線回折法で観察すると、基板面に平行な結晶面が(111)面に強く配向していることが判明した。これは、Siでは(111)面の表面エネルギーが最も小さくなるため起こる現象であり、結晶粒径の増大が、表面エネルギーがドライビングフォースとなって起こる2次結晶粒成長によって引き起こされていることを裏付けている。

【0037】また、このように結晶粒の結晶面をそろえることにより、実用上では結晶粒界でのポテンシャルバリアが低くなりキャリア移動度が増大する効果がある。

【0038】(実施の形態2) 本発明の第2の実施の形態を図10～図19により説明する。

【0039】680mm×880mmで歪み点670℃の無アルカリガラス基板1上にモノシランとアンモニアと窒素の混合ガスを原料としたプラズマCVD法により窒化シリコン膜200を100nm堆積する。

【0040】次にテトラエチルオルソシリケート(TEOS)と酸素ガスを原料としたプラズマCVD法で酸化シリコン膜2を200nm成膜する。

【0041】続いて、モノシランと水素を原料ガスとするプラズマCVD法により膜厚40nmの水素化非晶質シリコン3を成膜する。(図10)シリコン3を成膜する。赤外吸収法により評価した膜中の水素量は7～10at%であった。

【0042】次に、 $200\text{mJ}/\text{cm}^2$ のXeClエキシマレーザ4を30ショット照射して、上記水素化非晶質シリコン膜3の含有水素を脱離させる。脱水素処理後の膜中水素量は1～3at%であった。

【0043】次に $300\text{mJ}/\text{cm}^2$ のXeClエキシマレーザ4を照射して、脱水素化処理した非晶質シリコン3を結晶化させ多結晶シリコン膜5を形成する。このとき平均結晶粒径は約60nmとなった。

【0044】次に、 $380\text{mJ}/\text{cm}^2$ のXeClエキシマレーザ4を多結晶シリコン膜5に照射すると、結晶粒が融着して平均結晶粒径が約600nmで表面平均粗さが3nmの多結晶シリコン膜6を形成する。(図11)次に、周知のホトリソグラフィ法により前記多結晶シリコン膜6を所定形状にパターニングする。

【0045】次に、テトラエチルオルソシリケート(TEOS)と酸素ガスを原料としたプラズマCVD法でゲート絶縁膜20を二酸化シリコン膜とし50nm堆積する。形成時の基板温度は360℃、TEOSと O_2 のガス混合比は1:100とし、ゲート絶縁膜20として二酸化シリコン膜を得た。(図12)

次に、ゲート電極としてNb膜250nmをスパッタリング法により堆積し、周知のホトリソグラフィ法により所定の平面形状にパターニングしTFTのゲート電極およびこれと一体化された走査配線電極であるゲート電極10を得る。(図13)

次にゲート電極をマスクとしてイオン注入法によりリンを加速電圧45keV、ドーズ量 $1\text{E}13\text{cm}^{-2}$ で打ち込み n^+ 層311を形成する。(図14)次に、ホトリソグラフィ法により所定のホトレジストパターンを形成後、リンを加速電圧40keV、ドーズ量 $1\text{E}15\text{cm}^{-2}$ で打ち込み n^+ 層31を形成する。(図15)

前記のホトレジストパターンを除去後、ホトリソグラフィ法により別のホトレジストパターンを形成し、ボロンを加速エネルギー30keV、ドーズ量 $3\text{E}15\text{cm}^{-2}$ で注入し、 p^+ 層32を形成する。(図16)

層間絶縁膜としてテトラエチルオルソシリケート(TEOS)と酸素ガスを原料としたプラズマCVD法で層間絶縁膜21として二酸化シリコン膜を500nm堆積し450℃で1時間熱処理し注入イオンを活性化する。

(図17)

周知のホトリソグラフィ法により層間絶縁膜にコンタクトスルーホールを開口した後、ソース、ドレイン電極としてAlを450nm、Crを50nmスパッタリング法で堆積し、周知のホトリソグラフィ法によりパターニングしてソース電極11、ドレイン電極12を得る。

(図18)

次に、保護絶縁膜として、テトラエチルオルソシリケート(TEOS)と酸素ガスを原料としたプラズマCVD法で保護絶縁膜22として二酸化シリコン膜を200nmとモノシランとアンモニアと窒素の混合ガスを原料としたプラズマCVD法により保護絶縁膜23として窒化シリコン膜を500nm堆積する。

【0046】次に、基板を水素あるいは窒素雰囲気中400℃で1時間熱処理することにより、保護絶縁膜23としての窒化シリコン膜中に含有される水素を前記多結晶シリコン膜3へ拡散させ、結晶粒界に存在する欠陥を封止して不活性化する。

【0047】最後に、周知のホトリソグラフィ法により保護絶縁膜にコンタクトスルーホールを開口した後、ITO膜をスパッタリング法により140nm堆積し、周知のホトリソグラフィ法により加工し画素電極13を形成し、多結晶シリコンTFTを用いたアクティブマトリクス基板を得る。(図19)

本実施の形態では、表面の平均粗さが3nmと平坦な多結晶シリコン膜6を用いてTFTアクティブマトリクスを構成したので、信頼性を低下させることなく多結晶シリコン膜6上のゲート絶縁膜の膜厚を50nmまで薄くすることができた。

【0048】図20は本実施の形態の製造方法により作製したTFTのゲートーソース間リーク電流特性を従来

のTFTと比較したものである。

【0049】ゲート絶縁膜が50nmの従来の素子では多結晶シリコン膜表面の突起部での電界集中により印加電界2MV/cm以下の低電界領域で大きなリーク電流を示し、かつ絶縁破壊電界も4MV/cm以下と低く液晶駆動用TFTとしては実用に耐えないが、本実施の形態の製造方法により作製したTFTでは表面の平滑性のために低電界領域でのリーク電流は十分低く抑えられており、かつ絶縁破壊電界も7MV/cmと高く、高信頼のTFTが得られた。

【0050】また、平均結晶粒径が600nmと良好な結晶性を持つ多結晶シリコンを用いたため、NMOSの電界効果移動度として $301\text{cm}^2/\text{Vs}$ と良好なTFTが得られた。これら高いキャリア移動度とゲート絶縁膜の薄膜化の特徴により、電流駆動能力の高い高性能なTFTを得ることができた。このような高性能TFTは、高品位の表示装置の駆動回路に必要とされる高性能駆動回路を構成するために好適なものである。

【0051】（実施の形態3）図21は本発明の別の実施の形態にかかる液晶表示装置の単位画素の平面図、図22は図21中A-A'で示される線に沿った断面図である。

【0052】本実施の形態においては、TFTを構成する半導体だけでなく、TFTに接続された容量素子 C_{st} の一方の電極を本発明の多結晶シリコンで構成した点に特徴がある。容量素子 C_{st} は、多結晶シリコン膜30と共通電極15およびこれらに挟持されたゲート絶縁膜20とで構成されている。

【0053】このような容量素子は液晶層の容量の電圧依存性や、TFTのゲートソース間の寄生容量に起因するフィードスルー電圧に起因して発生する液晶印加電圧の非対称を補償するために液晶容量と並列に設けられる。液晶印加電圧の非対称を十分小さくするためには容量値はできるだけ大きくするほうがよいが、容量素子は一般に面積を必要とするため、大きな容量を形成すると画素内で光が透過する開口部の面積が小さくなり、光利用効率が低下する。

【0054】また、大きな面積を取る容量部ではショート不良が起りやすい。特に、表面に大きな突起がある従来の多結晶シリコン膜を容量電極として用いると容量部でのショート不良が頻発し画素欠陥が発生しやすい。容量電極として、本発明による表面が平坦な多結晶シリコン膜を用いたことにより、容量素子部でのショート不良発生がほとんどないため、画素欠陥のない良質な液晶表示装置を構成できた。また、ショート不良を増加させることなく容量部の絶縁膜を薄くすることが可能となったので、単位面積あたりの容量を大きくすることができ、容量形成に必要な面積を縮小できた。このため開口部の面積を大きくすることができたので光利用効率が向上し、より明るい液晶表示装置を構成できた。

【0055】（実施の形態4）図23は、周辺駆動回路をTFTアクティブマトリックスとともに同一基板上に集積した表示装置全体の等価回路を示す。Y1～Yendの走査信号線10と、X1R～XendBからなる映像信号線であるドレイン電極12および、これらの交差点付近に形成されたTFTよりなるアクティブマトリックス50と、これを駆動する垂直走査回路51、1走査線分のビデオ信号を複数のブロックに分割して時分割的に供給するための毎水平走査回路53、ビデオ信号Dataを供給するデータ信号線Vdr1、Vdg1、Vdb1、…、ビデオ信号を分割ブロック毎にアクティブマトリックス側へ供給するスイッチマトリックス回路52よりなる。

【0056】半導体膜として、本発明の特徴である表面凸が5nm以下と平坦で、平均結晶粒径が600nm以上の大粒径の多結晶シリコン膜を用いたため、NMOSで $300\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上の高移動度のTFTを得ることができた。このTFTを用いたことにより、水平走査回路の高速化が可能となった。このことにより、ビデオ信号を複数のブロックに分割する場合の分割数を少なくできるので、外部からの信号接続線数を少なくでき、コンパクトな液晶表示装置を実現できた。

【0057】また、駆動回路の高速化により、対角サイズ10インチで垂直走査線数1200本水平信号線数1600×3本と高精細の駆動回路内蔵型液晶表示装置を実現した。

【0058】（実施の形態5）図24は本発明に係る液晶表示装置の液晶セル断面模式図を示す。液晶層506を基準に下部のガラス基板1上には、ゲート電極10と映像信号電極であるドレイン電極12とがマトリクス状に形成され、その交点近傍に形成されたTFTを介してITOよりなる画素電極13を駆動する。液晶層506を挟んで対向する対向ガラス基板508上にはITOよりなる対向電極510、及びカラーフィルター507、カラーフィルター保護膜511、遮光用ブラックマトリクスパターンを形成する遮光膜512が形成されている。偏光板505はそれぞれ一対のガラス基板1、508の外側の表面に形成されている。液晶層506は液晶分子の向きを設定する下部配向膜ORI1と、上部配向膜ORI2の間に封入され、シール材SL（図示せず）によってシールされている。下部配向膜ORI1は、ガラス基板1側の保護絶縁膜23の上部に形成される。対向ガラス基板508の内側の表面には、遮光膜512、カラーフィルター507、カラーフィルター保護膜511、対向電極510および上部配向膜ORI2が順次積層して設けられている。この液晶表示装置はガラス基板1側と対向ガラス基板508側の層を別々に形成し、その後上下ガラス基板1、508を重ねあわせ、両者間に液晶506を封入することによって組立られる。バックライトBLからの光の透過を画素電極13部分で調節することによりTFT駆動型のカラー液晶表示装置が構成

される。画素電極13を駆動するTFTおよびこれを駆動する駆動回路のTFTとして、以上に述べた本発明の半導体素子を用いることにより、高信頼、高品位のTFT方式液晶表示装置を実現できる。

【0059】

【発明の効果】本発明により、表面の凹凸が小さくかつ結晶粒径の大きい高品質な薄膜半導体を製造できるため、それを用いて高品位かつ高信頼の液晶表示装置を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態を示す断面図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態を示す断面図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態を示す断面図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態を示す断面図である。

【図5】本発明の実施の形態にかかる膜厚40nmの多結晶シリコン膜の断面および平面電子顕微鏡写真とその模写図である。

【図6】本発明の範囲外の膜厚55nmの多結晶シリコン膜の断面および平面電子顕微鏡写真とその模写図である。

【図7】膜厚の異なるシリコン膜における照射レーザーエネルギーと平均結晶粒径の関係を示す図である。

【図8】多結晶シリコン膜の結晶粒径の最大値および平均表面凹凸と膜厚の関係を示す図である。

【図9】平均表面凹凸の定義を説明する模式図である。

【図10】本発明の実施の形態を示す断面図である。

【図11】本発明の実施の形態を示す断面図である。

【図12】本発明の実施の形態を示す断面図である。

【図13】本発明の実施の形態を示す断面図である。

【図14】本発明の実施の形態を示す断面図である。

【図15】本発明の実施の形態を示す断面図である。

【図16】本発明の実施の形態を示す断面図である。

【図17】本発明の実施の形態を示す断面図である。

【図18】本発明の実施の形態を示す断面図である。

【図19】本発明の実施の形態を示す断面図である。

【図20】本発明の方法により作製したTFTと従来のTFTのゲートリーク電流特性の比較を示す。

【図21】本発明の実施の形態にかかる液晶表示装置の単位画素の平面図である。

【図22】本発明の実施の形態にかかる液晶表示装置の単位画素の断面図である。

【図23】本発明の実施の形態にかかる駆動回路内蔵型液晶表示装置の全体構成図である。

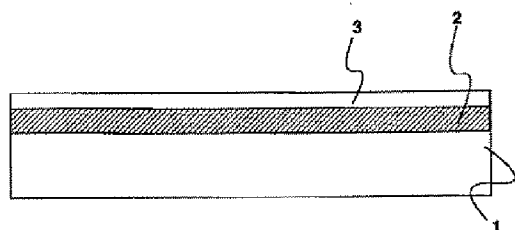
【図24】本発明の実施の形態にかかる液晶表示装置のセル断面図である。

【符号の説明】

1…ガラス基板、2…下地酸化シリコン膜、3…水素化非晶質シリコン、4…XeClエキシマレーザー、5、6、30…多結晶シリコン膜、10…ゲート電極、11…ソース電極、12…ドレイン電極、13…画素電極、20…ゲート絶縁膜、21…層間絶縁膜、22…保護絶縁膜(SiO_2)、23…保護絶縁膜(Si_3N_4)、31…n層、32…p層、51…垂直走査回路、53…水平走査回路、50…TFTアクティブマトリクス、52…スイッチマトリクス回路、200…窒化シリコン膜、331…n層。

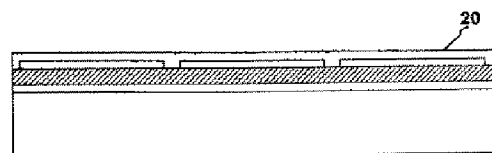
【図1】

図 1



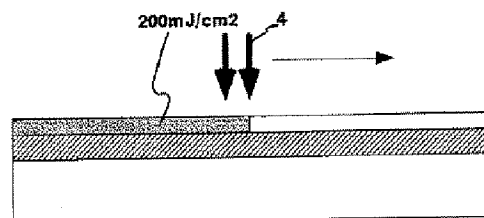
【図12】

図 12

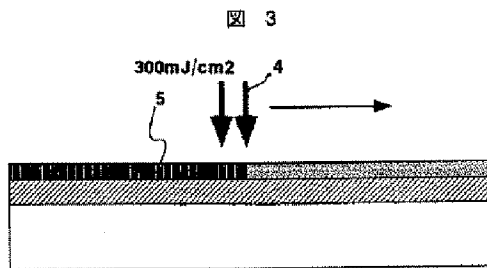


【図2】

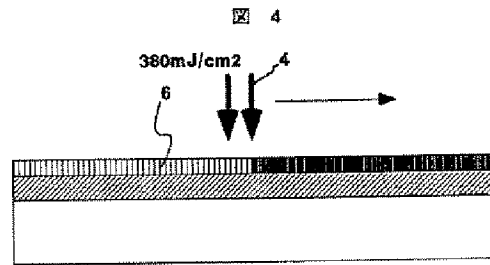
図 2



【図3】

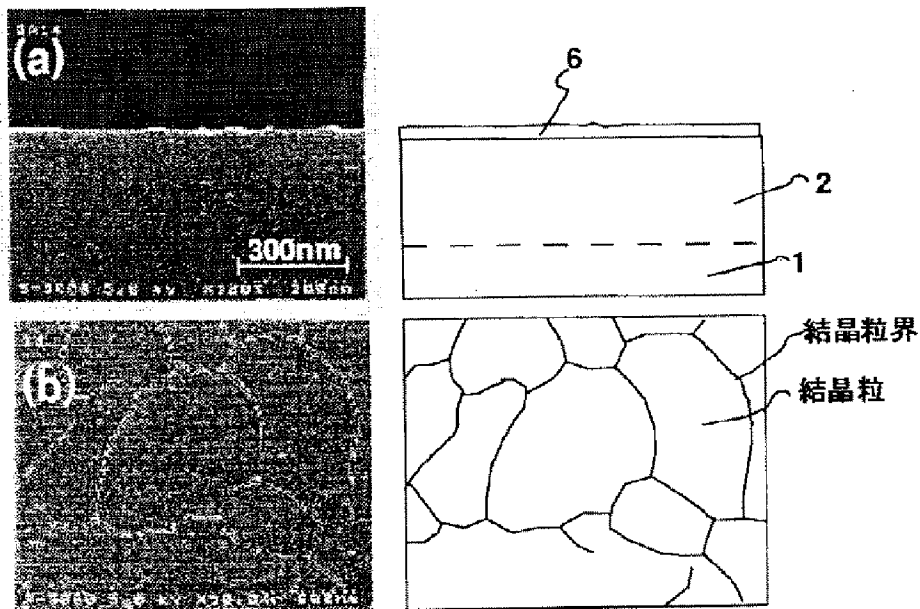


【図4】



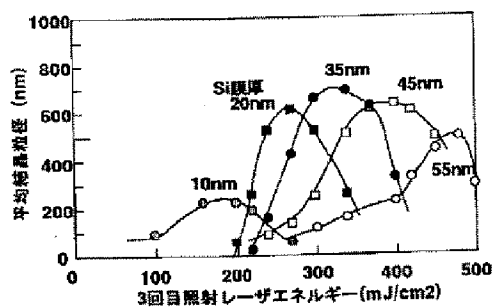
【図5】

図 5



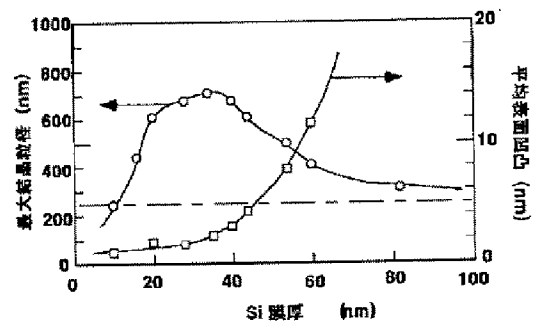
【図7】

図 7



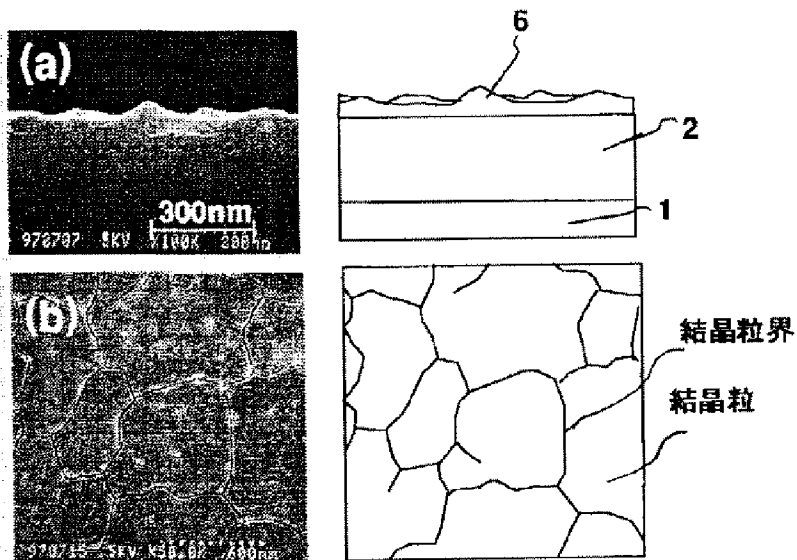
【図8】

図 8



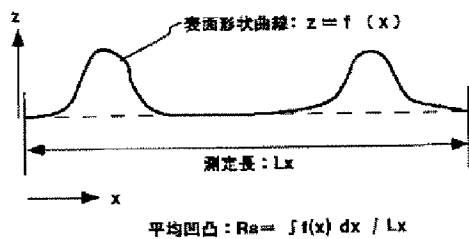
【図6】

図 6



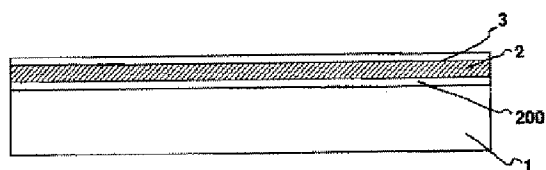
【図9】

図 9



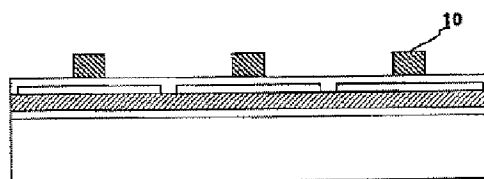
【図10】

図 10



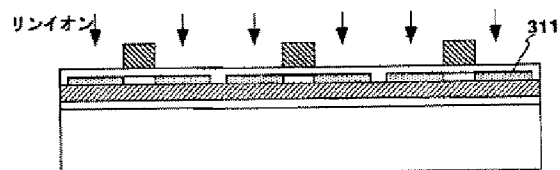
【図13】

図 13



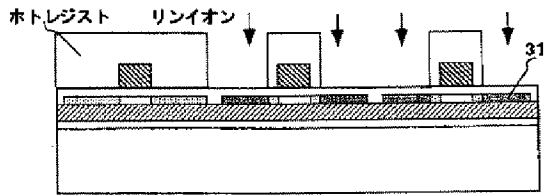
【図14】

図 14



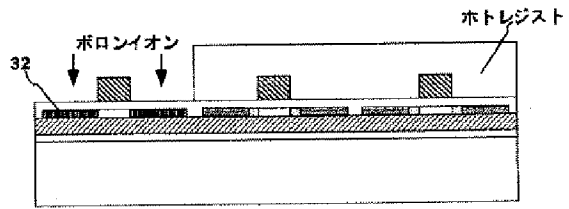
【図15】

図 15



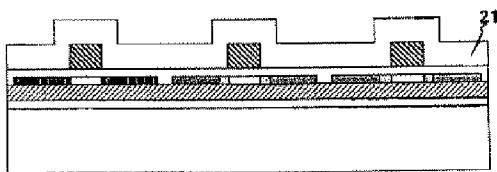
【図16】

図 16



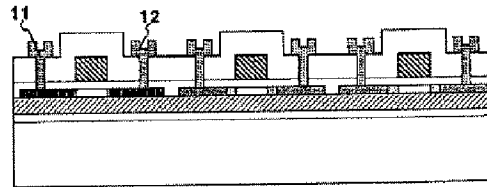
【図17】

図 17



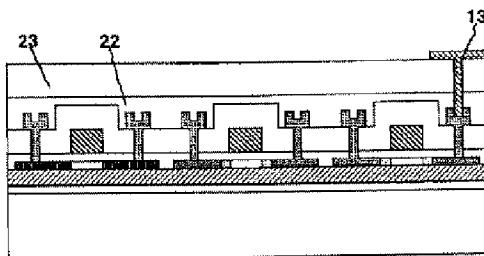
【図18】

図 18



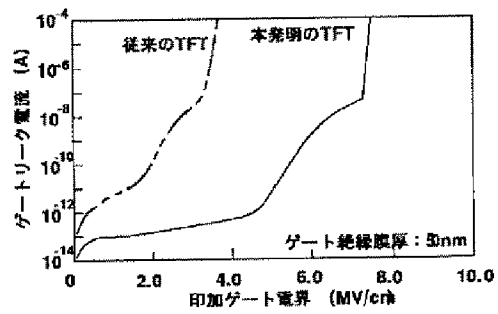
【図19】

図 19



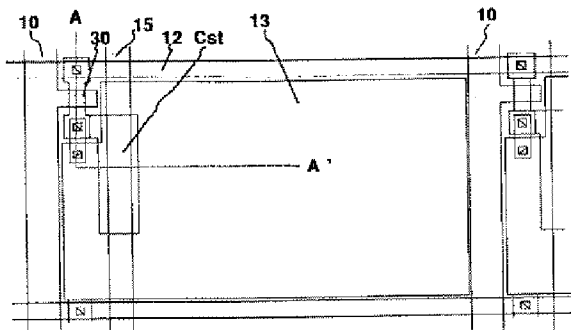
【図20】

図 20



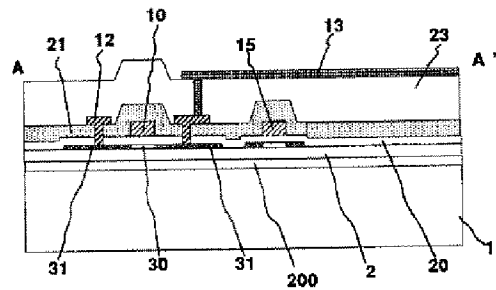
【図21】

図 21



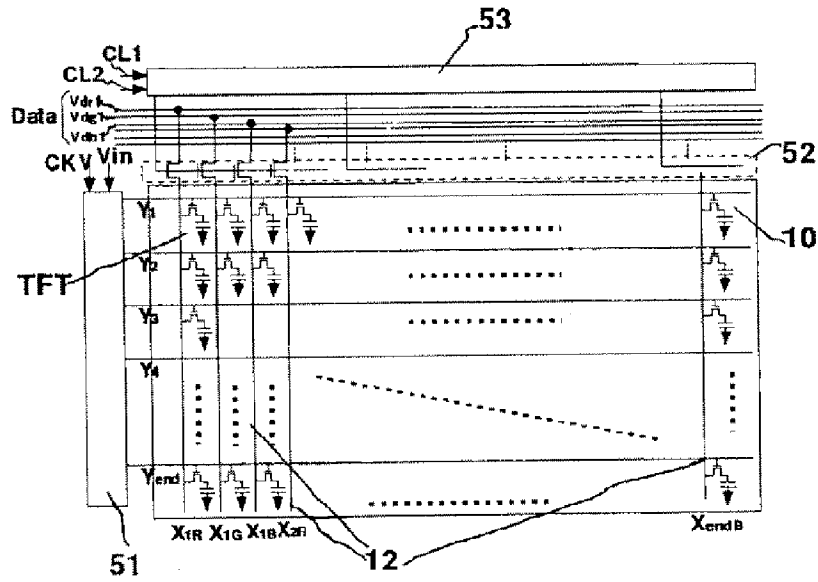
【図22】

図 22



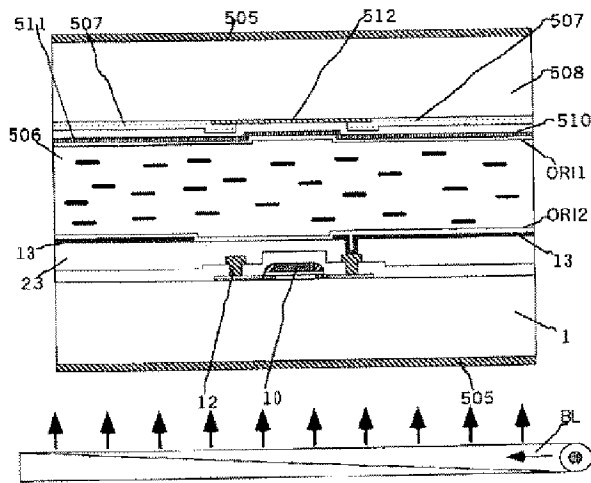
【図 23】

図 23



【図 24】

図 24



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード*

(参考)

H 0 1 L 21/336

(19) Japan Patent Office (JP)

(12) Publication of Unexamined Patent Application (A)

(11) Patent Application Publication Number: 2000-81642 (P2000-81642A)

(43) Publication Date: March 21, 2000

5	(51) Int. Cl. ⁷	Identification Symbol	FI	Theme Code (Reference)
	G02F	1/1365	G02F	1/136 500
	G09F	9/30 338	G09F	9/30 338
	H01L	21/20	H01L	21/20
		21/268		21/268 F
10		29/786		29/78 627 G

Request for Examination: Not made

Number of Claims: 28 OL (13 pages in total)

Continued on the last page

(21) Application Number: H11-191210

15 (22) Filing Date: July 6, 1999

(31) Priority Number: H10-190097

(32) Priority Date: July 6, 1998

(33) Priority Country: Japan (JP)

(71) Applicant: 000005108

20 Hitachi, Ltd.
4-6, Kanda Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo

(72) Inventor: Genshiro KAWACHI
c/o Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.
7-1-1, Ohmika-cho, Hitachi-shi, Ibaraki-ken

25 (72) Inventor: Youmei SHINAGAWA
c/o Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.
7-1-1, Ohmika-cho, Hitachi-shi, Ibaraki-ken

(72) Inventor: Akio MIMURA
c/o Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.
7-1-1, Ohmika-cho, Hitachi-shi, Ibaraki-ken

30

(74) Agent: 100075096

Patent attorney, Yasuo SAKUTA

(54) [Title of the Invention]

LIQUID CRYSTAL DISPLAY DEVICE AND MANUFACTURING
5 METHOD THEREOF

(57)[Summary]

[Object]

It is an object to obtain surface roughness of a crystalline semiconductor whose crystal grain diameter is large and whose surface has small roughness.

10 [Means for Solution]

A method is employed in which an amorphous semiconductor including hydrogen with a thickness of 45 nm or less is irradiated with a laser beam in order to form a polycrystalline semiconductor and is further irradiated with a laser beam having higher energy in order to weld crystal grains formed by the laser irradiation, so that
15 larger crystal grains are grown. Instead of crystal growth in a lateral direction, small crystal grains are welded in order to generate large crystal grains. Accordingly, generation of projections at crystal grain boundaries can be suppressed; thus, a high-quality crystalline semiconductor whose surface has small roughness and whose crystal grain diameter is large can be formed.

20 [Scope of Claims]

[Claim 1]

A method for manufacturing a liquid crystal display device, comprising: over an insulating substrate, a plurality of signal wirings; a gate wiring formed so as to intersect with the plurality of signal wirings; a plurality of semiconductor elements
25 formed in a vicinity of an intersection of the signal wirings and the gate wiring; and a pixel electrode which is connected to the plurality of semiconductor elements, comprising the steps of:

for the semiconductor film included in the semiconductor element,

a first step of forming an amorphous semiconductor film including hydrogen;

30 a second step of performing irradiation with an energy beam having a first energy density on the amorphous semiconductor film including hydrogen;

a third step of performing irradiation with an energy beam having a second energy density which is higher than the first energy density on the semiconductor film; and

5 a fourth step of performing irradiation with an energy beam having a third energy density which is higher than the second energy density on the semiconductor film.

[Claim 2]

The method for manufacturing a liquid crystal display device according to claim 1, wherein the amorphous semiconductor layer in the first step includes hydrogen
10 at 5 at % or more.

[Claim 3]

The method for manufacturing a liquid crystal display device according to claim 2, wherein the thickness of the amorphous semiconductor layer in the first step is greater than or equal to 20 nm and less than or equal to 45 nm.

15 [Claim 4]

A method for manufacturing a liquid crystal display device, comprising: over an insulating substrate, a plurality of signal wirings; a gate wiring formed so as to intersect with the plurality of signal wirings; a plurality of semiconductor elements formed in a vicinity of an intersection of the signal wirings and the gate wiring; a pixel
20 electrode which is connected to the plurality of semiconductor elements; and a capacitor which is connected to the plurality of semiconductor elements and whose at least one electrode includes a semiconductor film, comprising the steps of:

for the semiconductor film included in the electrode of the capacitor,

a first step of forming an amorphous semiconductor film including hydrogen;

25 a second step of performing irradiation with an energy beam having a first energy density on the amorphous semiconductor film including hydrogen;

a third step of performing irradiation with an energy beam having a second energy density which is higher than the first energy density on the semiconductor film; and

30 a fourth step of performing irradiation with an energy beam having a third energy density which is higher than the second energy density on the semiconductor film.

[Claim 5]

The method for manufacturing a liquid crystal display device according to claim 4, wherein the amorphous semiconductor film in the first step includes hydrogen at 5 at % or more.

5 [Claim 6]

The method for manufacturing a liquid crystal display device according to claim 5, wherein the thickness of the amorphous semiconductor film in the first step is greater than or equal to 20 nm and less than or equal to 45 nm.

[Claim 7]

10 The method for manufacturing a liquid crystal display device according to any one of claims 1 to 6, wherein the semiconductor film included in the semiconductor element or one of the electrodes of the capacitor has surface roughness of 5 nm or less.

[Claim 8]

15 The method for manufacturing a liquid crystal display device according to any one of claims 1 to 7, wherein the semiconductor film included in the semiconductor element or one of the electrodes of the capacitor is a polycrystalline semiconductor and has an average crystal grain diameter of 600 nm or more.

[Claim 9]

20 The method for manufacturing a liquid crystal display device according to any one of claims 1 to 6, wherein the first step to the fourth step are conducted without exposing a surface of the semiconductor film to the atmosphere.

[Claim 10]

A method for manufacturing a liquid crystal display device, comprising the steps of:

25 forming an insulating film over an insulating substrate;

forming an amorphous semiconductor film including hydrogen over the insulating film;

performing irradiation with an energy beam having a first energy density on the amorphous semiconductor film including hydrogen;

30 performing irradiation with an energy beam having a second energy density which is higher than the first energy density; and

performing irradiation with an energy beam having a third energy density which is higher than the second energy density.

[Claim 11]

5 The method for manufacturing a liquid crystal display device according to any one of claims 1 to 7, wherein the semiconductor film contains silicon as a main component.

[Claim 12]

A method for manufacturing a liquid crystal display device which has a step in which a semiconductor thin film is crystallized by irradiation with an energy beam,
10 comprising the steps of:

forming a first crystalline semiconductor by irradiation with an energy beam such as laser;

performing irradiation with an energy beam having a higher energy density such as laser;

15 welding crystal grains included in the first crystalline semiconductor; and

forming a second crystalline semiconductor which has larger crystal grains than the first crystalline semiconductor.

[Claim 13]

A method for manufacturing a liquid crystal display device which has a step in which a semiconductor thin film with a thickness of 45 nm or less is crystallized by
20 irradiation with an energy beam such as laser, comprising the steps of:

forming a first crystalline semiconductor by irradiation with an energy beam such as laser;

25 performing irradiation with an energy beam having a higher energy density such as laser;

welding crystal grains included in the first crystalline semiconductor; and

forming a second crystalline semiconductor which has larger crystal grains than the first crystalline semiconductor.

[Claim 14]

30 The method for manufacturing a liquid crystal display device according to claim 11 or 12, wherein the semiconductor thin film is an amorphous silicon film.

[Claim 15]

The method for manufacturing a liquid crystal display device according to any one of claims 1 to 6, wherein the amorphous semiconductor film is formed by a plasma chemical vapor deposition method.

[Claim 16]

- 5 The method for manufacturing a liquid crystal display device according to claim 10, wherein among the insulating film, an insulating film which is in contact with the amorphous semiconductor film is formed by a plasma chemical vapor deposition method using a mixed gas of alkoxysilane and oxygen.

[Claim 17]

- 10 The method for manufacturing a liquid crystal display device according to claim 16, wherein the alkoxysilane includes Si-H bonds in molecules.

[Claim 18]

A method for manufacturing a liquid crystal display device, comprising the steps of:

- 15 obtaining a polycrystalline semiconductor film through the steps of:
 forming an insulating film over an insulating substrate;
 forming an amorphous semiconductor film including hydrogen over the insulating film;
 performing irradiation with an energy beam having a first energy
20 density on the amorphous semiconductor film including hydrogen;
 performing irradiation with an energy beam having a second energy density which is higher than the first energy density; and
 performing irradiation with an energy beam having a third energy density which is higher than the second energy density;
25 patterning the polycrystalline semiconductor film to have a predetermined shape;
 forming a gate insulating film so as to cover the patterned polycrystalline semiconductor;
 forming a gate electrode so as to extend over a part of the polycrystalline
30 semiconductor with the gate insulating film interposed therebetween;

introducing a P-type impurity or an N-type impurity in a predetermined portion of the polycrystalline semiconductor by an ion implantation method or the like using the gate electrode as a mask;

5 forming a source region and a drain region by activating the P-type impurity or the N-type impurity by heat treatment;

forming an interlayer insulating film so as to cover the polycrystalline semiconductor, the gate electrode, the source region, and the drain region;

forming an opening portion in the interlayer insulating film over the source electrode and the drain electrode [sic.];

10 forming a source electrode and a drain electrode so as to be connected to the source region and the drain region through the opening portion;

forming a protective insulating film so as to at least cover the source electrode and the drain electrode;

15 forming a second opening portion in the protective insulating film over the source electrode or the drain electrode; and

forming a pixel electrode which is connected to the source electrode or the drain electrode through the second opening portion.

[Claim 19]

20 The method for manufacturing a liquid crystal display device according to any one of claims 1 to 18, wherein the insulating substrate is a glass substrate which has a strain point of 700 °C or less and which has a side with a length of at least 800 mm or more.

[Claim 20]

25 A liquid crystal display device, comprising:
over an insulating substrate,
a plurality of signal wirings;
a gate wiring formed so as to intersect with the plurality of signal wirings;
a plurality of semiconductor elements formed in a vicinity of an intersection of
the signal wirings and the gate wiring; and
30 a pixel electrode which is connected to the plurality of semiconductor elements,
wherein the semiconductor film included in the semiconductor element which
has a thickness of greater than or equal to 20 nm and less than or equal to 45 nm, whose

average surface roughness is 5 nm or less, and whose average crystal grain diameter is 600 nm or more, is formed by a laser crystallization method.

[Claim 21]

A liquid crystal display device, comprising:
5 over an insulating substrate,
a plurality of signal wirings;
a gate wiring formed so as to intersect with the plurality of signal wirings;
a plurality of semiconductor elements formed in a vicinity of an intersection of
the signal wirings and the gate wiring;
10 a pixel electrode which is connected to the plurality of semiconductor
elements; and
a capacitor which is connected to the plurality of semiconductor elements and
whose at least one electrode includes a semiconductor film,
wherein the semiconductor film included in the electrode of the capacitor
15 which has a thickness of greater than or equal to 20 nm and less than or equal to 45 nm,
whose average surface roughness is 5 nm or less, and whose average crystal grain
diameter is 600 nm or more, is formed by a laser crystallization method.

[Claim 22]

A liquid crystal display device, comprising at least:
20 over an insulating substrate,
a plurality of signal wirings;
a gate wiring formed so as to intersect with the plurality of signal wirings;
a plurality of semiconductor elements formed in a vicinity of an intersection of
the signal wirings and the gate wiring; and
25 a pixel electrode which is connected to the plurality of semiconductor elements,
wherein the semiconductor film included in the semiconductor element which
has a thickness of greater than or equal to 20 nm and less than or equal to 45 nm, whose
average surface roughness is 5 nm or less, and whose average crystal grain diameter is
600 nm or more, is formed by a laser crystallization method, and
30 wherein in the semiconductor film, when an area of a certain crystal grain is
defined as S_n , the length of the periphery L_n on the crystal grain surface is satisfied by

$L_n \leq 4\pi R_n$ in crystal grains of at least 50 % or more with respect to R_n which is defined by $R_n = (S_n/\pi)^{1/2}$.

[Claim 23]

A liquid crystal display device, comprising:
 5 over an insulating substrate,
 a plurality of signal wirings;
 a gate wiring formed so as to intersect with the plurality of signal wirings;
 a plurality of semiconductor elements formed in a vicinity of an intersection of
 the signal wirings and the gate wiring;
 10 a pixel electrode which is connected to the plurality of semiconductor
 elements; and
 a capacitor which is connected to the plurality of semiconductor elements and
 whose at least one electrode includes a semiconductor film,
 wherein the semiconductor film included in the electrode of the capacitor
 15 which has a thickness of greater than or equal to 20 nm and less than or equal to 45 nm,
 whose average surface roughness is 5 nm or less, and whose average crystal grain
 diameter is 600 nm or more, is formed by a laser crystallization method, and
 wherein in the semiconductor film, when an area of a certain crystal grain is
 defined as S_n , the length of the periphery L_n on the crystal grain surface is satisfied by
 20 $L_n \leq 4\pi R_n$ in crystal grains of at least 50 % or more with respect to R_n which is defined
 by $R_n = (S_n/\pi)^{1/2}$.

[Claim 24]

The liquid crystal display device according to any one of claims 20 to 23,
 wherein the semiconductor film is a polycrystalline silicon film whose main crystal
 25 orientation on a surface is (111).

[Claim 25]

The liquid crystal display device according to any one of claims 20 to 24,
 wherein the insulating substrate is a glass substrate which has a strain point of 700 °C or
 less.

30 [Claim 26]

The liquid crystal display device according to any one of claims 20 to 24, wherein the semiconductor element has a top gate structure in which a gate electrode is formed over the semiconductor film with an insulating film interposed therebetween.

[Claim 27]

5 The method for manufacturing a liquid crystal display device according to any one of claims 1 to 6, wherein the energy beam is laser light.

[Claim 28]

 The method for manufacturing a liquid crystal display device according to any one of claims 1 to 6, wherein the irradiation with the energy beam in the second step,
10 the third step, or the fourth step is performed plural times.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]

 The present invention relates to a liquid crystal display device and a
15 manufacturing method thereof, especially, a structure of a high-quality liquid crystal display device with large size, high definition, and high image quality and a manufacturing method thereof.

[0002]

[Prior Art]

20 As a display device which displays image information and textual information of office automation equipment or the like, an active matrix type liquid crystal display device using a thin film transistor (hereinafter referred to as a "TFT") is known. In a conventional manner, it is an important object of this type of liquid crystal display device to achieve cost reduction, high definition, and high quality image. In order to
25 achieve these objects, improvement in performance of a TFT which is a key device is essential. In the case where a high-performance TFT is formed over an inexpensive glass substrate, for example, as described in Japanese Published Patent Application No. H8-167722, a TFT has been also included in a peripheral driver circuit for driving a TFT active matrix and formed over one substrate in an attempt to reduce costs. If a
30 higher-performance peripheral driver circuit can be formed over one glass substrate, simplification of a circuit configuration mounted in an external portion and the process for mounting can be realized. Thus, extreme reduction in costs for mounting can be

expected. In order to configure a high-performance circuit, a higher-performance TFT is necessary. In particular, at present, a poly-Si TFT which is formed over a polycrystalline silicon (hereinafter referred to as "poly-Si") film as a TFT for a peripheral driver circuit integrated type liquid crystal display device is expected. In order to form a high-performance poly-Si TFT over a large-sized substrate, it is necessary to form a high-quality poly-Si film at low temperature. As a technology for forming a high-quality poly-Si film over a large-sized glass substrate at low temperature, a laser crystallization method with high power laser is known.

[0003]

10 In a conventional laser crystallization method of a semiconductor film, especially when a polycrystal whose size of a crystal grain is large is formed, projections which have the same level height as the thickness of the film are generated. When this semiconductor thin film is employed for a device, especially for an active layer of a thin film transistor, hot carriers cause deterioration of a gate insulating film due to electric field concentration at projection portions. Thus, this projection contributes to reduction in a withstand voltage characteristic of a gate insulating film and reliability for a long-term use. As a method for manufacturing a crystalline semiconductor thin film whose surface has small roughness with laser crystallization, as described in (1) IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, VOL. 42 NO. 2 1995 p251, laser irradiation with 10 mJ/cm² pitch in multiple stages has been reported so far.

[0004]

As described in (2) Dig. of Tech. Papers 1997 Int. Workshop Active Matrix Liq. Cryst. Displays (Business Center of Academic Societies, Tokyo 1997) p167, laser irradiation is performed after amorphous silicon is polycrystallized by a solid layer [sic.] growth method.

[0005]

As described in (3) Dig. of Tech. Papers 1996 Int. Workshop Active Matrix Liq. Cryst. Displays (Business Center of Academic Societies, Tokyo 1996) p85, there is a method in which when crystallization is performed, a cap material which transmits laser light is formed on a semiconductor surface in order to suppress growth of roughness.

[0006]

[Problems to be Solved by the Invention]

In the above-described conventional technology, there are problems as follows. In the conventional technology (1), irradiation with laser with 10 mJ/cm² pitch is minutely performed in multiple stages. In this case, when microcrystalline silicon is once formed, the microcrystalline silicon is not easily melted and only polycrystalline silicon whose crystal grain diameter is about 60 nm is formed. Thus, there is a problem that large polycrystalline silicon whose crystal grain diameter is 500 nm or more cannot be formed.

10 [0007]

In (2), because a solid layer [sic.] growth method is employed, silicon is heated at 1000 °C. Thus, an inexpensive glass substrate cannot be used, and there is a problem in that a crystalline semiconductor cannot be manufactured at low costs.

[0008]

15 In (3), at the time of melting by laser irradiation, heat is released to a cap material due to heat conduction; thus, there is a problem that the crystallization rate becomes higher and only a low-quality polycrystalline semiconductor whose crystal grain diameter is small is manufactured.

[0009]

20 As described above, by the conventional laser crystallization methods, there has been a difficulty in improving both of reliability of elements due to smoothness of a surface and performance such as the mobility due to the increase in the grain diameter.

[0010]

25 In contrast, it is an object of the present invention to achieve both increase in a crystal grain diameter and suppression of generation of projections over a semiconductor surface with a laser irradiation method. The present invention provides a flat high-performance crystalline semiconductor film whose average crystal grain diameter is 600 nm or more, whose average surface roughness is 5 nm or less, and whose thickness is 45 nm or less; and a liquid crystal display device using the same.

30 [0011]

[Means for Solving the Problem]

In the present invention, in order to solve the above problems, there is a feature that when a semiconductor thin film is irradiated with a laser beam to be crystalized, the thickness of the semiconductor film is set to 45 nm or less; once a polycrystalline semiconductor is formed by the laser irradiation; then, laser irradiation with higher energy is performed; crystal grains formed by the laser irradiation are welded; and a polycrystalline semiconductor film whose crystal grain is larger and whose surface is flat is grown.

[0012]

In particular, manufacturing steps including: a first step in which an amorphous semiconductor film including hydrogen is formed over an insulating substrate; a second step in which irradiation with an energy beam having a first energy density such as laser light is performed on the amorphous semiconductor film including hydrogen at least one or more times; a third step in which irradiation with an energy beam having a second energy density which is higher than the first energy density such as laser light is performed on the semiconductor film at least one or more times; and a fourth step in which irradiation with an energy beam having a third energy density which is higher than the second energy density such as laser light is performed on the semiconductor film at least one or more times were employed.

[0013]

As an initial film, an amorphous semiconductor film moderately including hydrogen is formed by a plasma CVD method so that an amorphous semiconductor can be formed uniformly over a large-sized glass substrate having a side with a length of 800 mm or more at low temperature of 400 °C or less. Further, the thickness of the initial film affects the surface roughness after recrystallization with laser. According to experiments by the present inventors, it is apparent that the surface roughness can be suppressed to about 5 nm or less if the film thickness is 45 nm or less.

[0014]

Next, the inside of the amorphous semiconductor is heated by a first laser irradiation so that hydrogen in the film is released.

[0015]

At this time, the irradiation energy density is set to be the value in which melting and crystallization of the film are not caused so that generation of voids in the film due to release of hydrogen in the film at a stroke can be prevented.

[0016]

5 Then, the amorphous semiconductor is melted and recrystallized by a second laser irradiation which is stronger than the first laser irradiation so that a polycrystalline semiconductor film whose average crystal grain diameter is about 50 nm and whose crystal grain is small is obtained.

[0017]

10 At this time, if irradiation energy is increased at a stroke in order to increase the crystal grain diameter, crystal growth proceeds in a horizontal direction (a direction parallel to a base substrate) in accordance with the temperature gradient which is large also in the horizontal direction in crystallization of silicon which is completely melted. Thus, in a region where adjacent growth surfaces collide with each other (a grain
15 boundary), the density is reduced from 2.5 g/cm^3 , which is a melted state, to 2.3 g/cm^3 , which is a crystallized state. Therefore, the expansion in volume is caused and projections are caused. Accordingly, an object to obtain a smooth surface cannot be achieved. Therefore, it is important that the intensity of the second laser beam is selected within the range in which a polycrystalline semiconductor film including small
20 crystal grains whose average crystal grain diameter is about 50 nm can be obtained.

[0018]

 Finally, crystal grains with small grain diameter which is obtained by the second laser irradiation are welded by irradiation with a third laser beam which is stronger than the second laser beam so that a polycrystalline semiconductor film with
25 large grain diameter is obtained. In the polycrystalline semiconductor film with large grain diameter which is obtained in such a manner, a grain boundary is sandwiched between crystal grains and the crystal grains are welded (a second grain growth) so that expansion of the crystal grains is caused. At this time, because surfaces in which crystal growth proceeds in a horizontal direction do not collide with each other, the
30 height of projections is not changed from the height when crystallization is performed with low laser. Thus, generation of high projections is suppressed in an entire crystallization process.

[0019]

Further, in the polycrystalline semiconductor film which is obtained in such a manner, the shape of crystal grains is indeterminate and the length of the periphery L_n on the crystal grain surface is satisfied by $L_n \leq 4\pi R_n$ in crystal grains of at least 50 % or
 5 more with respect to R_n which is defined by $R_n = (S_n/\pi)^{1/2}$. In general, in the polycrystalline semiconductor film formed by a solid phase growth method, crystal grains have a dendrite shape and have the large length of the periphery with respect to the area of the crystal grains; thus, the above formula is not satisfied. In such a polycrystalline semiconductor film, there are many crystal defects; thus, high carrier
 10 mobility cannot be obtained. In contrast, the polycrystalline semiconductor film according to the present invention is a high-quality crystalline semiconductor with crystal grains whose length of the periphery is small.

[0020]

Such a flat polycrystalline semiconductor film whose grain diameter is large is
 15 suitable for a high-performance TFT with high reliability.

[0021]

Other features of the present invention become apparent from the following embodiment modes.

[0022]

20 [Embodiment Mode]

Examples will be described in which silicon is used as a semiconductor film according to embodiments of the present invention with reference to the accompanying drawings.

[0023]

25 (Embodiment Mode 1)

A silicon oxide film 2 is formed over a non-alkali glass substrate 1 which has a size of 680 mm × 880 mm and has a strain point of 670 °C by a plasma CVD method using a tetraethyl orthosilicate (TEOS) and an oxygen gas as sources.

[0024]

30 The film formation temperature is 360 °C and the flow ratio of TEOS to O_2 is 1:100. A base silicon oxide film with a film quality as high as that of the gate oxide

film should be formed because the base silicon oxide film is in contact with an upper semiconductor layer. The ratio of TEOS:O₂ is set to 1:100 and the film formation temperature is set to 350 °C so that the high-quality silicon oxide film 2 with a small fixed charge density was able to be obtained. Further, instead of TEOS, the use of triethoxy orthosilicate (H-Si-O₃(C₂H₅)₃) which is formed by replacing one of four alkyl groups of a TEOS molecule with H is also effective at forming a high-quality film.

[0025]

Next, a hydrogenated amorphous silicon film 3 is formed to have a thickness of 35 nm by a plasma CVD method using monosilane and hydrogen as source gases. The amount of hydrogen in the film which is evaluated by an infrared absorption method was 7 at.% ~ 10 at.% (FIG. 1).

Then, irradiation with XeCl excimer laser 4 at 200 mJ/cm² is performed with 30 shots so that hydrogen included in the above hydrogenated amorphous silicon film 3 is released. After the treatment for releasing hydrogen, the amount of hydrogen in the film was 1 at.% to 3 at.% (FIG. 2).

Subsequently, irradiation with the XeCl excimer laser 4 at 300 mJ/cm² is performed in order to crystallize amorphous silicon 4 [sic.] which is subjected to the treatment for releasing hydrogen and form a polycrystalline silicon film 5. The average crystal grain diameter was about 60 nm (FIG. 3).

After that, when the polycrystalline silicon film 5 is irradiated with the XeCl excimer laser 4 at 380 mJ/cm², crystal grains whose average crystal grain diameter is about 60 nm are welded with each other. Then, a polycrystalline silicon film 6 whose average crystal grain diameter is about 600 nm was obtained (FIG. 4).

FIG. 5 shows scanning electron microscope photographs of a surface and a cross-section of the polycrystalline silicon film 6 which is obtained in such a manner. In a plan view, grain boundary portions are removed by etching treatment in order to make crystal grain boundaries recognized. As seen in the photographs, the surface of the film is extremely smooth and large crystal grains are obtained. The average surface roughness was 3 nm. In order to achieve planarization, the thickness of the initial amorphous silicon film is an important factor, [sic.] FIG. 6 shows scanning electron microscope photographs of a surface and a cross-section of a polycrystalline

silicon film which is formed by subjecting a hydrogenated amorphous silicon film with a thickness of 55 nm to a similar process. Although a similar process was performed, projections about as high as the thickness of the film is observed over a surface of the film with a thickness of 55 nm. There is no difference with the polycrystalline silicon
 5 film formed by the conventional laser crystallization method. Then, relations between the average surface roughness and the crystal grain diameter, and the thickness of the initial hydrogenated amorphous silicon film were examined in detail.

[0026]

FIG. 7 shows a relation between the average crystal grain diameters of silicon
 10 films each having a different initial thickness and irradiation energy of a third round of irradiation with excimer laser.

[0027]

Note that the average crystal grain diameter is defined by the diameter of the circle whose area is equal to the area of each crystal grain. The average crystal grain
 15 diameter l_a of a certain region in which m pieces of crystal grains exist (the area is S) is defined by the following formula.

[0028]

$$l_a = 2 \times ((S/m)/\pi)^{1/2}$$

Note that in the present invention, in the case of a SEM, the area S by which the average
 20 crystal grain diameter is obtained is the sum of the area of each crystal grain which is photographed under magnification at which the size of the crystal grain can be observed and the entirety of which is photographed without missing parts of the grain boundary in one view. In addition, in the case of plural views, the area S is the sum of the total areas of crystal grains of which entire parts are present in each view. In the case of an
 25 AFM, an STM, or the like, the area S is the sum of the total areas of crystal grains of which entire grain boundaries are present in a certain measurement range.

[0029]

When the average crystal grain diameter is maximized, irradiation energy depends on the thickness of an initial film. The smaller the film thickness is, the lower
 30 the irradiation energy is. Further, it is found that the maximum value also depends on the thickness of the initial film. When the film thickness is 35 nm to 45 nm, the maximum value is maximized. Thus, even if the film thickness is smaller or larger

than the range, the largest grain diameter becomes small. The smaller the film thickness is, the larger the largest grain diameter is. It is considered that this is because surface energy on a substrate interface, which serves as a driving force for a second crystal grain growth, becomes higher than grain boundary energy necessary for the rearrangement of atoms at grain boundaries; accordingly, the second crystal grain growth easily occurs. From this result, it is found that in order to increase the crystal grain diameter, thickness of the initial film is less than or equal to 45 nm, preferably, from 35 nm to 45nm.

[0030]

FIG. 8 shows a relation between surface roughness and the maximum crystal grain diameter of a film with the maximum average crystal grain diameter, and the thickness of the initial film.

[0031]

The surface roughness is the average roughness obtained by an atomic force microscope (AFM).

[0032]

In the present invention, the average surface roughness means arithmetic mean roughness (Ra), which is calculated by dividing a volume of a portion surrounded by the surface with the average height of a surface shape curve and a surface shape by a measurement area when the three-dimensional shape of a semiconductor surface is analyzed. In the present invention, when the measurement area is analyzed by an analysis method such as an AFM or a scanning tunnel electron microscope (STM) [sic.], which is capable of analyzing a three-dimensional surface shape, a certain range on a semiconductor surface whose area is larger than an analysis limit area available for analysis is defined as the measurement area. In contrast, in the case where a surface shape is analyzed with the two-dimensional cross-sectional structure of a semiconductor, the average surface roughness is obtained by dividing the integral value of height of the surface shape obtained by the surface shape curve by the measurement length as shown in FIG. 9. The cross-sectional structure can be observed by the photograph of a TEM or a high-resolution scanning electron microscope (SEM). Further, the cross-sectional structure can also be observed by scanning a measurement probe of an AFM or an STM once. In the present invention, the range of the measurement length for calculating the

average roughness is one view or a plural of views of the electronic microscope under magnification at which the roughness can be calculated in the case where an electronic microscope such as a TEM or a SEM is employed as an analysis method. In addition, when an AFM or a STM is employed, the range of the measurement length for calculating the average roughness is a certain range of a semiconductor surface which is longer than the measurement limit length. In the present invention, the average roughness may be calculated with either the three-dimensional shape or the cross-sectional shape. In the case of the three-dimensional shape, when the film thickness direction is defined as a Z axis and the surface shape curve is defined as $z = f(x, y)$, Ra is obtained by the following formula.

[0033]

$$Ra = (1/(Lx \cdot Ly)) \times \int_0^{Lx} \int_0^{Ly} f(x, y) dx dy$$

Here, Lx: X direction measurement length, Ly: Y direction measurement length

On the other hand, in the case of the cross-sectional shape, when the film thickness direction is defined as a Z axis and the measured surface shape curve is defined as $z = f(x)$, Ra is obtained by the following formula.

[0034]

$$Ra = (1/Lx) \times \int_0^{Lx} f(x) dx$$

Here, Lx: X direction measurement length.

[0035]

From the results of FIG. 8, it is found that the initial film thickness is preferably 20 nm or more so that the average crystal grain diameter can be 600 nm. Further, the film thickness is preferably 45 nm, more preferably 40 nm or less so that the surface roughness can be 5 nm or less.

[0036]

Furthermore, when the polycrystalline silicon film according to the present invention is observed by an X-ray diffraction method, it is found that a crystal plane parallel to a substrate surface is oriented mainly along a (111) plane. This phenomenon occurs because surface energy of Si is lowest on the (111) plane. This phenomenon proves that the increase in the crystal grain diameter is caused by the second crystal grain growth caused by surface energy which serves as a driving force.

[0037]

Furthermore, crystal planes of crystal grains are aligned in such a manner so that an effect can be obtained as follows: potential barriers at crystal grain boundaries become low practically, whereby the carrier mobility is increased.

5 [0038]

(Embodiment Mode 2)

Embodiment mode 2 of the present invention will be described with reference to FIG. 10 to FIG. 19.

[0039]

10 A silicon nitride film 200 is deposited to have a thickness of 100 nm over the non-alkali glass substrate 1 which has a size of 680 mm × 880 mm and has a strain point of 670 °C by a plasma CVD method using a mixed gas of monosilane, ammonia, and nitrogen as a source.

[0040]

15 Next, the silicon oxide film 2 is formed to have a thickness of 200 nm by a plasma CVD method using a tetraethyl orthosilicate (TEOS) and an oxygen gas as sources.

[0041]

20 Subsequently, the hydrogenated amorphous silicon 3 is formed to have a thickness of 40 nm by a plasma CVD method using monosilane and hydrogen as source gases (FIG.10). The silicon 3 is formed. The amount of hydrogen in the film which is evaluated by an infrared absorption method was 7 at.% to 10 at.%.

[0042]

25 Then, irradiation with the XeCl excimer laser 4 at 200 mJ/cm² is performed with 30 shots so that hydrogen included in the above hydrogenated amorphous silicon film 3 is released. After the treatment for releasing hydrogen, the amount of hydrogen in the film was 1 at.% to 3 at.%.

[0043]

30 Next, irradiation with the XeCl excimer laser 4 at 300 mJ/cm² is performed in order to crystallize the amorphous silicon film 3 which is subjected to the treatment for

releasing hydrogen and form the polycrystalline silicon film 5. At this time, the average crystal grain diameter was about 60 nm.

[0044]

Subsequently, when the polycrystalline silicon film 5 is irradiated with the
5 XeCl excimer laser 4 at 380 mJ/cm^2 , crystal grains are welded to each other. Then, the polycrystalline silicon film 6 whose average crystal grain diameter is about 600 nm and average surface roughness is 3 nm is obtained (FIG. 11). Then, the polycrystalline silicon film 6 is patterned to have a predetermined shape by a publicly known photolithography method.

10 [0045]

Then, a silicon dioxide film is deposited to have a thickness of 50 nm by a plasma CVD method using a tetraethyl orthosilicate (TEOS) and an oxygen gas as sources as a gate insulating film 20. The substrate temperature was set to 360°C and the flow ratio of TEOS to O_2 was set to 1:100 when the film was formed so that the
15 silicon dioxide film was obtained as the gate insulating film 20 (FIG. 12).

Next, as a gate electrode, an Nb film is deposited to have a thickness of 250 nm by a sputtering method and is patterned to have a predetermined planar shape by a publicly known photolithography method so that a gate electrode of a TFT and a gate electrode 10 which serves as a scan wiring electrode integrated therewith are obtained
20 (FIG. 13).

Subsequently, phosphorus is implanted using the gate electrode as a mask by an ion implantation method under conditions with an accelerating voltage of 45 keV and a dose of $1\text{E}13 \text{ cm}^{-2}$ so that an n^- layer 311 is formed (FIG. 14). Next, after a predetermined photoresist pattern is formed by a photolithography method, phosphorus
25 is implanted under conditions with an accelerating voltage of 40 keV and a dose of $1\text{E}15 \text{ cm}^{-2}$ so that an n^+ layer 31 is formed (FIG. 15).

After the photoresist pattern is removed, another photoresist pattern is formed by a photolithography method, and boron is implanted under conditions with an accelerating voltage of 30 keV and a dose of $3\text{E}15 \text{ cm}^{-2}$ so that a p^+ layer 32 is formed
30 (FIG. 16).

As an interlayer insulating film, a silicon dioxide film is deposited to have a thickness of 500 nm by a plasma CVD method using a tetraethyl orthosilicate (TEOS)

and an oxygen gas as sources as an interlayer insulating film 21. Heat treatment is performed at 450 °C for 1 hour to activate implanted ions (FIG. 17).

A contact through hole is formed in the interlayer insulating film by a publicly known photolithography method and then an Al film and a Cr film are deposited to have a thickness of 450 nm and 50 nm, respectively, by a sputtering method as a source electrode and a drain electrode and are patterned by a publicly known photolithography method so that a source electrode 11 and a drain electrode 12 are obtained (FIG. 18).

Then, as a protective insulating film, a silicon dioxide film is deposited to have a thickness of 200 nm by a plasma CVD method using a tetraethyl orthosilicate (TEOS) and an oxygen gas as sources as a protective insulating film 22. A silicon nitride film is deposited to have a thickness of 500 nm by a plasma CVD method using a mixed gas of monosilane, ammonia, and nitrogen as a source as a protective insulating film 23. [0046]

Next, the substrate is subjected to heat treatment in a hydrogen atmosphere or a nitrogen atmosphere at 400 °C for 1 hour so that hydrogen included in the silicon nitride film which serves as the protective insulating film 23 is diffused into the polycrystalline silicon film 3 and defects present at crystal grain boundaries are sealed and deactivated. [0047]

Finally, a contact through hole is formed in the protective insulating film by a publicly known photolithography method, and then an ITO film is deposited to have a thickness of 140 nm by a sputtering method and is processed by a publicly known photolithography method so that a pixel electrode 13 is formed and an active matrix substrate using a polycrystalline silicon TFT is obtained (FIG. 19).

In this embodiment mode, a TFT active matrix includes the flat polycrystalline silicon film 6 whose average surface roughness is 3 nm; accordingly, the thickness of a gate insulating film over the polycrystalline silicon film 6 can be reduced to 50 nm without reducing reliability.

[0048]

In FIG. 20, the TFT manufactured by the manufacturing method in this embodiment mode is compared with the conventional TFT concerning characteristics of the leakage current between a gate and a source.

[0049]

In the conventional element in which a gate insulating film is 50 nm, the leakage current appears in a low electric field region in which an applied electric field is 2 MV/cm or less due to electric field concentration at projections over a surface of the polycrystalline silicon film. In addition, the breakdown electric field is 4 MV/cm or less, which is too low for practical use as a liquid crystal driver TFT. However, as for the TFT manufactured by the manufacturing method in this embodiment mode, the high-reliable TFT in which the leakage current is kept sufficiently low in a low electric field region due to its smoothness of a surface of the TFT and the breakdown electric field is 7 MV/cm, which is high, was obtained.

[0050]

Further, because polycrystalline silicon having favorable crystallinity whose average crystal grain diameter is 600 nm was used, a favorable TFT in which the field effect mobility of NMOS is $301 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ was obtained. These features such as the high carrier mobility and reduction in thickness of the gate insulating film made it possible to obtain a high-performance TFT with high current drive capability. Such a high-performance TFT is suitable for structuring of the high-performance driver circuit which is necessary for the driver circuit of a high-quality display device.

[0051]

20 (Embodiment Mode 3)

FIG. 21 is a plan view of a unit pixel of a liquid crystal display device according to another embodiment mode of the present invention. FIG. 22 is a cross-sectional view taken along a line shown as A-A' in FIG. 21.

[0052]

25 In this embodiment mode, there is a feature that one of electrodes of a capacitor Cst which is connected to a TFT includes polycrystalline silicon of the present invention as well as the semiconductor included in the TFT. The capacitor Cst is formed of a polycrystalline silicon film 30, a common electrode 15, and the gate insulating film 20 which is interposed therebetween.

30 [0053]

Such a capacitor is provided in parallel with a liquid crystal capacitor in order to compensate asymmetry of the liquid crystal applied voltage caused by voltage

dependence of capacitance in a liquid crystal layer and a feedthrough voltage due to parasitic capacitance between a gate and a source of a TFT. In order to reduce asymmetry of the liquid crystal applied voltage sufficiently, the capacitance value is preferably as high as possible. However, a larger area is necessary for a capacitor in general. Therefore, when a large-sized capacitor is formed, the area of an opening portion which transmits light in a pixel becomes small. Thus, light use efficiency is reduced.

[0054]

Further, in a large-area capacitor portion, a short-circuit defect is easily caused.

In particular, when the conventional polycrystalline silicon film whose surface has large projections is used as a capacitor electrode, the short-circuit defect is frequently caused in a capacitor portion; thus, a pixel defect is easily caused. The polycrystalline silicon film whose surface is flat according to the present invention is used as a capacitor electrode; thus, the short-circuit defect in a capacitor portion is hardly caused. Accordingly, a high-quality liquid crystal display device without the pixel defect was able to be structured. Furthermore, because an insulating film in a capacitor portion was able to be thinned without increase in short-circuit defects, the capacitor per unit area was able to be made large and the area necessary for formation of the capacitor was able to be reduced. Accordingly, because the area of an opening portion was able to be made large, light use efficiency was improved and a liquid crystal display device with higher brightness was able to be structured.

[0055]

(Embodiment Mode 4)

FIG. 23 shows an equivalent circuit of an entire display device in which a peripheral driver circuit is formed over one substrate together with a TFT active matrix. The equivalent circuit is formed of an active matrix 50 includes a scan signal line 10 of Y 1 to Y end, the drain electrode 12 which serves as an image signal line and includes X1R to X end B, and a TFT formed in the vicinity of the intersection of them; a vertical scan circuit 51 which drives it; a per [sic.] horizontal scan circuit 53 which divides a video signal for 1 scan line into a plurality of blocks and supplies them by time division access; data signal lines Vdr 1, Vdg 1, Vdb 1, ... which supply video signal Data; and a

switch matrix circuit 52 which supplies the video signal to an active matrix side per divided block.

[0056]

As a semiconductor film, a polycrystalline silicon film which has a feature of
 5 the present invention that the surface roughness is 5 nm or less, which is flat, and the average crystal grain diameter is 600 nm or more, which is large, was used. Thus, in an NMOS, a TFT having high mobility of 300 cm/Vs or more was able to be obtained. By use of this TFT, the high-speed operation of the horizontal scan circuit was able to be achieved. This makes it possible to decrease the division number in the case where
 10 a video signal is divided into a plurality of blocks. Thus, the number of signal connection lines from the outside was able to be reduced and a compact liquid crystal display device was able to be realized.

[0057]

Further, the high-speed operation of the driver circuit made it possible to
 15 realize a liquid crystal display device incorporating a high-definition driver circuit in which the number of vertical scan lines is 1200 and the number of horizontal signal lines is 1600×3 with a diagonal size of 10 inches.

[0058]

(Embodiment Mode 5)

FIG. 24 shows a cross-sectional schematic view of a liquid crystal cell of a
 20 liquid crystal display device according to the present invention. With the use of a liquid crystal layer 506 as a reference, over the glass substrate 1 in a lower portion of the liquid crystal layer 506, the gate electrode 10 and the drain electrode 12 which serves as an image signal electrode are formed in a matrix. The pixel electrode 13
 25 including ITO is driven through a TFT formed in the vicinity of the intersection. Over a counter glass substrate 508 which is disposed oppositely with the liquid crystal layer 506 interposed, a counter electrode 510 including ITO, a color filter 507, a color filter protective film 511, and a light-shielding film 512 which forms a light-shielding black matrix pattern are formed. A polarizing plate 505 is formed on each of outer surfaces
 30 of the glass substrates 1 and 508 which are a pair. The liquid crystal layer 506 is enclosed between a lower part oriented film ORI 1 and an upper part oriented film ORI 2 which set a direction of liquid crystal molecules and is sealed with a sealant SL (not

shown). The lower part oriented film ORI 1 is formed at an upper portion of the protective insulating film 23 on a glass substrate 1 side. On an inner surface of the counter glass substrate 508, the light-shielding film 512, the color filter 507, the color filter protective film 511, the counter electrode 510, and the upper part oriented film ORI 2 are sequentially deposited. This liquid crystal display device is assembled by separately forming layers on the glass substrate 1 side and layers on a counter glass substrate 508 side, making the lower glass substrate 1 superpose the upper glass substrate 508, and enclosing the liquid crystal 506 between them. Transmission of light emitted from a back light BL is controlled in the pixel electrode 13 portion, whereby a TFT driving type color liquid crystal display device is structured. As a TFT for driving the pixel electrode 13 and a TFT of a driver circuit for driving the TFT, the semiconductor element of the present invention which is described above is used, whereby a high-quality TFT type liquid crystal display device with high reliability can be realized.

[0059]

[Effect of the Invention]

According to the present invention, a high-quality thin film semiconductor whose surface has small roughness and whose crystal grain diameter is large can be manufactured; accordingly, with the use of it, a high-quality liquid crystal vote [sic.] device with high reliability can be obtained.

[Brief Description of the Drawings]

[FIG. 1] A cross-sectional view showing a first embodiment mode of the present invention.

[FIG. 2] A cross-sectional view showing a first embodiment mode of the present invention.

[FIG. 3] A cross-sectional view showing a first embodiment mode of the present invention.

[FIG. 4] A cross-sectional view showing a first embodiment mode of the present invention.

[FIG. 5] Electron microscope photographs and replicated views of a cross-section and a plane of a polycrystalline silicon film with a thickness of 40 nm according to embodiment modes of the present invention.

[FIG. 6] Electron microscope photographs and replicated views of a cross-section and a plane of a polycrystalline silicon film with a thickness of 55 nm which does not fall within the scope of the present invention.

[FIG. 7] A diagram showing a relation between irradiation laser energy and the average
5 crystal grain diameters of silicon films each having a different thickness.

[FIG. 8] A diagram showing a relation among the maximum crystal grain diameter, the average surface roughness, and the film thickness of a polycrystalline silicon film.

[FIG. 9] A schematic view explaining the definition of the average surface roughness.

[FIG. 10] A cross-sectional view showing embodiment modes of the present invention.

10 [FIG. 11] A cross-sectional view showing embodiment modes of the present invention.

[FIG. 12] A cross-sectional view showing embodiment modes of the present invention.

[FIG. 13] A cross-sectional view showing embodiment modes of the present invention.

[FIG. 14] A cross-sectional view showing embodiment modes of the present invention.

[FIG. 15] A cross-sectional view showing embodiment modes of the present invention.

15 [FIG. 16] A cross-sectional view showing embodiment modes of the present invention.

[FIG. 17] A cross-sectional view showing embodiment modes of the present invention.

[FIG. 18] A cross-sectional view showing embodiment modes of the present invention.

[FIG. 19] A cross-sectional view showing embodiment modes of the present invention.

[FIG. 20] A diagram showing a comparison of characteristics of the gate leakage current
20 between the TFT manufactured by the method of the present invention and a conventional TFT.

[FIG. 21] A plan view of a unit pixel of the liquid crystal display device according to embodiment modes of the present invention.

[FIG. 22] A cross-sectional view of a unit pixel of the liquid crystal display device
25 according to embodiment modes of the present invention.

[FIG. 23] An overall configuration diagram of the liquid crystal display device incorporating a driver circuit according to embodiment modes of the present invention.

[FIG. 24] A cross-sectional view of a cell of the liquid crystal display device according to embodiment modes of the present invention.

30 [Description of Reference Numerals]

1 glass substrate, 2 base silicon oxide film, 3 hydrogenated amorphous silicon film,
4 XeCl excimer laser, 5, 6, 30 polycrystalline silicon film, 10 gate electrode, 11

source electrode, 12 drain electrode, 13 pixel electrode, 20 gate insulating film,
 21 interlayer insulating film, 22 protective insulating film (SiO_2), 23 protective
 insulating film (Si_3N_4), 31 n^+ layer, 32 p^+ layer, 51 vertical scan circuit, 53
 horizontal scan circuit, 50 TFT active matrix, 52 switch matrix circuit, 200 silicon
 5 nitride film, 331 n^- layer

Continuation of the front page

	(51) Int. Cl. ⁷	Identification Symbol	FI	Theme Code (Reference)
10	H01L 21/336			